TRAITÉ D'HYDRAULIQUE ET DE GÉOLOGIE AGRICOLES

Adolphe Duponchel

J. TERQUEM & CO.
BOOKSELLERS AND BINDERS
19 Rue Scribe, PARIS
15 Beaver Street, New York

SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS

418
9437

Digitized by Google

TRAITÉ

D'HYDRAULIQUE

ET

DE GÉOLOGIE AGRICOLES

Monsieur de Boureuille
secrétaire général du ministère
de l'agriculture du commerce et des
travaux publics
Hommage de profond respect
Dupouchel

MONTPELLIER, TYPOGRAPHIE DE BOEHM ET FILS.

TRAITÉ
D'HYDRAULIQUE
ET DE
GÉOLOGIE AGRICOLES

Avec Cinq Planches

PAR

A. DUPONCHEL
INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

L'alluvion limoneuse ou marne artificielle sera pour l'industrie agricole ce que la houille est pour l'industrie manufacturière.

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE
Eugène LACROIX, Éditeur
LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

1868

AVANT-PROPOS.

Le développement des travaux d'utilité publique est un des faits les plus saillants de notre époque. De toutes parts nous avons vu surgir de gigantesques ouvrages qui, par leur rapide exécution, leur incontestable utilité, témoignent à la fois de la prospérité de la France et de l'intelligente supériorité de ses institutions modernes.

Quel que soit leur nombre cependant, toutes ou presque toutes ces entreprises, obéissant à l'entraînement des premiers besoins, ont eu pour but d'effacer les distances en améliorant les voies de transport et de communication. A cette préoccupation pour ainsi dire unique, nous devons les ports, les canaux, les chemins de fer, les télégraphes électriques, enfin cet immense réseau de routes et de chemins qui, sous des dénominations diverses, sillonnant la France dans tous les sens, ont eu déjà des résultats si remarquables pour l'accrois-

sement de la prospérité publique et le bien-être matériel des populations.

Le perfectionnement des voies de transport, en facilitant les échanges, doit, en effet, augmenter la consommation, et par suite encourager la production. Sous ce vigoureux stimulant, nous avons vu nos usines, nos manufactures, nos établissements industriels de tout genre, prendre de rapides accroissements ; mais au milieu de ce progrès général de la fortune publique, une de ses branches, la plus importante sans contredit, la production agricole, si elle n'est pas restée stationnaire, n'a du moins suivi que de très-loin la marche ascendante des autres industries.

Ce n'est pas que de louables tentatives n'aient été faites pour activer les efforts individuels ou collectifs des propriétaires, et pour propager la connaissance des meilleures méthodes de culture.

Secondée par des encouragements venus de haut, l'agriculture a, sans doute, réalisé récemment d'incontestables progrès ; mais cette amélioration limitée n'est souvent que relative à notre temps et se trouve parfois même très-inférieure à ce qui avait été obtenu en ce genre à des époques antérieures, que nous nous croyons à bon droit permis de considérer comme moins avancées que la nôtre, au point de vue du développement social.

Sans aller chercher des exemples de cette infériorité agricole au-delà de la contrée que nous habitons, nous pourrions citer bien des localités de l'ancien Languedoc,

dans lesquelles l'agriculture paraît aujourd'hui moins avancée qu'elle ne l'était à certaines périodes du moyen âge, à en juger, tout au moins, par l'étendue des terres cultivées. Un grand nombre de terrains sur lesquels on aperçoit des traces d'une culture patiente, souvent même perfectionnée, sont aujourd'hui complètement en friche. Des titres nombreux que nous avons eu occasion de consulter nous ont également prouvé qu'à diverses époques, notamment sous le règne de saint Louis, on s'était très-sérieusement occupé d'améliorations agricoles d'un intérêt général. Aux XIIe et XIIIe siècles, et plus tard sous l'administration des États de Languedoc, il est à notre connaissance qu'il a été exécuté, surtout en fait de dessèchement, des travaux d'une assez grande importance, devant la continuation desquels on recule encore aujourd'hui. Ce fait peut paraître étrange, il n'a cependant rien que de très-naturel : il est la conséquence même de notre développement social.

L'homme, en effet, est naturellement porté à améliorer autant qu'il est en lui les conditions de son bien-être matériel. S'il n'a été que trop souvent dévié de la voie du progrès par les guerres, les famines, les épidémies, qui pendant tant de siècles ont tour à tour dévasté le monde, il n'en a pas moins dû rester en toute circonstance prêt à profiter des moindres lueurs de calme et de tranquillité relatives, pour reprendre sa marche ascendante. A chacune de ces périodes, malheureusement trop rares dans nos anciennes annales, l'histoire signale dans les intentions des gouvernements et des

peuples, une tendance à améliorer l'agriculture, tendance d'autant plus marquée que l'agriculture autrefois était à peu près la seule industrie, qu'elle répondait aux besoins les plus impérieux de l'homme, qu'elle n'exigeait, du moins quant au point de vue pratique, le seul qu'on pût envisager alors, aucun long apprentissage de la part de ceux qui s'y adonnaient.

De tout temps le progrès agricole fut la préoccupation des grands règnes. De nos jours, nous avons vu reparaître dans les actes du gouvernement l'esprit qui avait dicté les vieilles ordonnances de Charlemagne, de saint Louis, de Henri IV et de Louis XIV, mais sous une forme moins pratique, plus savante en apparence, et par cela même mieux appropriée aux tendances de notre époque. De ce qui n'avait été jusqu'ici qu'un art professionnel, on a voulu faire une science exacte. Les théories n'ont pas fait défaut ; mais les résultats sont loin d'avoir répondu aux espérances qu'on avait conçues. On ne saurait s'en étonner. La science agricole ne repose pas sur des abstractions positives, comme les mathématiques, ou sur des lois précises, immuables, indépendantes des climats et des lieux, comme les sciences physiques. Elle n'est pas de celles qui puissent sortir toutes formées du cerveau. Elle ne peut s'établir en corps de doctrines certaines, que tout autant qu'elle repose sur des observations pratiques très-complexes, qui ont besoin d'être longuement étudiées et comparées les unes aux autres. Elle doit emprunter à la plupart des sciences physiques et naturelles, à la chimie, à la physique pro-

prement dite, à la géologie, à la physiologie végétale, une foule de principes qu'il s'agit de coordonner et de combiner entre eux, et dont il est parfois bien difficile de démêler les relations et l'influence.

La science agricole est une science en voie de formation, science jusqu'ici en quelque sorte spéculative, qui est loin d'avoir dit son dernier mot. Bien qu'elle n'ait pas encore été d'un grand secours pour la pratique agricole, elle n'en est pas moins appelée à lui rendre un jour de très-importants services ; à la faire sortir, enfin, de cet état d'infériorité relative dans lequel nous persistons à croire qu'elle se trouve placée.

La pratique, en effet, est comme la tradition : elle se perd si elle n'est exactement transmise d'une génération à l'autre, si une cause quelconque en interrompt la marche régulière.

Les données scientifiques ont, au contraire, cela de bon, qu'elles n'exigent aucune continuité dans leur transmission ; qu'un moment méconnues ou ignorées par une génération, elles n'en constituent pas moins dans les textes écrits [1] une richesse impérissable que la génération suivante sera toujours certaine de pouvoir s'assimiler, quand le moment en sera venu pour elle.

[1] Nos découvertes modernes ne sont bien souvent que la reproduction de découvertes antérieures dont la pratique et la tradition s'étaient perdues, et dont on est fort surpris de retrouver le germe ou les développements dans des livres oubliés. Un des rapprochements les plus curieux en ce genre que nous ayons à citer dans cet ouvrage (LXXX), s'applique aux procédés d'exploitation des mines aurifères employés par les Romains en Espagne, et retrouvés, à dix-sept siècles de distance, par les mineurs Américains en Californie.

Un tel avantage doit certainement compenser bien des mécomptes, excuser bien des efforts téméraires ou prématurés, tentés pour faire sortir l'agriculture du cercle étroit de la pratique. On comprend donc que tant d'hommes de science, et parmi eux des intelligences d'élite, chimistes, physiciens, géologues, ingénieurs, s'y soient essayés dans ces derniers temps.

Le point de départ de toute amélioration générale en agriculture, doit être l'étude complète du sol végétal qu'elle met en œuvre. Cette étude elle-même comporte deux points de vue distincts, l'un théorique, l'autre historique, suivant qu'on envisage : d'une part la nature et les qualités du sol végétal, de l'autre son origine et son mode de formation.

La première question, la théorie du sol végétal, a soulevé dans ces dernières années les plus vives controverses. Nous avons vu tour à tour se produire les opinions les plus diverses et les plus opposées sur les causes réelles de la fécondité du sol. Il appartenait à l'illustre président de la Société des sciences de Munich, à M. de Liebig, de mettre de l'ordre dans ce chaos, de ramener à une formule unique ces divers systèmes exclusifs ou contradictoires; de poser, en un mot, les véritables lois de la théorie des engrais et du sol végétal tout entier. C'est à cet éminent chimiste que nous devons, en effet, d'avoir établi et démontré par des expériences nettes et précises la solidarité qui existe entre tous les éléments d'origine organique ou minérale, qui concourent au développement de la vie végétale.

Mais la théorie du sol végétal, si grande que soit son importance, ne saurait constituer toute la science agricole. Il ne suffit pas de savoir quelles sont les conditions matérielles qu'un sol arable doit réunir pour être fertile, quelles sont, par suite, les modifications qu'il faut en principe faire subir à celui qui ne remplit pas ces conditions en entier; il faut encore connaître les procédés pratiques qui peuvent être utilement employés pour ramener dans le sol les éléments de fécondité qu'il a perdus, ou pour le reconstituer en entier et de toutes pièces.

Nous sommes ainsi amenés à étudier dans quelles circonstances se sont produites nos terres arables naturelles. Envisagée sous ce second aspect, la question est surtout du ressort de l'ingénieur, car elle ne constitue qu'une branche particulière de l'hydraulique générale, embrassant tout ce qui se rattache à l'écoulement des eaux sur le globe.

Pour peu qu'on examine les bonnes terres végétales, il est aisé de reconnaître, en effet, qu'elles doivent leur origine première à l'action des eaux courantes, qui seules ont pu broyer, mélanger, transporter et déposer dans un état convenable de division mécanique et de diversité chimique, les éléments minéraux qui leur ont donné naissance.

Parmi les personnes qui ont plus particulièrement appelé l'attention sur le rôle essentiel que, à nos diverses périodes géologiques, l'action toute mécanique des eaux courantes n'a cessé de jouer sur la préparation et la répartition des sols végétaux, nous devons citer en pre-

mière ligne M. Nerée-Bourbée. Bien que nous ne partagions pas de tout point les opinions de ce géologue prématurément ravi à la science, bien que ses conclusions personnelles n'aient abouti à aucune solution pratique, nous ne saurions méconnaître l'influence que l'idée-mère de son système a exercée sur le développement des études que nous-même avions déjà commencées.

L'eau courante joue un double rôle en agriculture. Elle est à la fois l'un des éléments les plus indispensables de toute végétation, et l'un des agents les plus puissants des transformations qui se sont produites, et qui, se continuant de nos jours à la surface du globe, ont constitué nos terres végétales. De là, deux sortes d'études qui intéressent plus particulièrement l'ingénieur et qui dans ces derniers temps ont surtout éveillé la vive sollicitude du Gouvernement.

Récemment, en effet, il a été amené à créer deux ordres distincts de services publics, confiés l'un et l'autre aux ingénieurs des Ponts-et-Chaussées. Les premiers, institués en 1848 sous le nom de services hydrauliques, ont pour but spécial l'étude et l'application de toutes les mesures propres à assurer le bon aménagement des eaux, dans l'intérêt de l'agriculture et de l'industrie.

Les seconds, organisés sous le nom de services spéciaux des inondations, à la suite des crues de l'année 1856, ont surtout en vue l'étude des moyens propres à amoindrir les désordres résultant de ces grands cataclysmes. Ces deux services, on est malheureusement obligé de le reconnaître,

sont loin d'avoir encore produit les résultats qu'on se croyait en droit d'en attendre.

Le zèle et le bon vouloir des ingénieurs, — bien que nous soyons du nombre nous croyons pouvoir leur rendre cette justice, — n'ont pas fait défaut à la tâche qui leur était dévolue. Mais, sans parler des obstacles résultant de l'apathie naturelle des populations agricoles, de leur indifférence pour tout ce qui est progrès, de leur méfiance instinctive contre tout ce qui leur paraît émaner de l'initiative de l'Administration, du défaut de législation précise en matière agricole, les ingénieurs se sont trouvés aux prises avec des difficultés nouvelles, auxquelles leurs études antérieures n'avaient pu les préparer suffisamment.

L'hydraulique agricole a déjà motivé de remarquables ouvrages, parmi lesquels nous citerons en première ligne les traités de M. Nadault de Buffon sur les irrigations, les dessèchements et les colmatages. Dans une science toute nouvelle, les maîtres eux-mêmes doivent étudier et apprendre à mesure ce qu'ils sont chargés d'enseigner. Le savant professeur de l'école des Ponts-et-Chaussées n'a point failli à cette tâche. Son cours est aujourd'hui complet dans sa partie historique et technique. Nul mieux que nous ne rend justice aux mérites de cet important ouvrage; mais l'étude comparative des travaux d'hydraulique agricole exécutés avant nous n'atteindrait que très-incomplètement son but, si elle nous donnait seulement des formules pratiques de construction; si, en même temps qu'elle nous guide dans les sentiers étroits de l'empirisme, elle ne nous ouvrait une voie théorique plus

large vers les améliorations nouvelles que comporte le perfectionnement de notre état social.

Comme science, l'hydraulique agricole est encore presque toute à créer, surtout en ce qui concerne nos contrées méridionales, où les phénomènes dus aux agents naturels se produisent avec une intensité d'action tout à fait inconnue dans les pays du Nord.

De plus en plus convaincu, pour notre compte personnel, par une expérience souvent acquise à nos dépens, que nous ne saurions trouver dans les livres la solution de la plupart des problèmes qui nous avaient arrêté au début de notre carrière, nous nous sommes résolu à chercher dans une lente et patiente observation de la nature les principes positifs, qui seuls pouvaient servir de base aux études pratiques qui nous étaient demandées.

Ce n'est en effet que lorsque nous connaîtrons bien les forces et les agents que la nature met en jeu, que nous pourrons arriver, sinon à combattre et à annihiler les effets nuisibles de ces forces, tout au moins à en modifier ou en diriger l'action. C'est dans de telles conditions que nous avons été amené à faire sur le rôle que l'action des eaux courantes a joué et continue de jouer dans la formation des terres végétales, une série d'études pratiques et de recherches dont cet ouvrage est avant tout le résumé. Ce n'est point un traité de technologie, un recueil de formules mathématiques ou de types d'ouvrages d'art, bien moins encore une compilation. Loin de redouter l'accusation d'avoir servilement reproduit les idées des autres, nous craindrions bien plutôt le reproche de n'en avoir pas

toujours suffisamment tenu compte, de n'avoir pas présenté un résumé plus complet de tout ce qui a été écrit de bon ou de vrai sur les diverses questions que nous avons été amené à traiter. Appelé, par la nature de notre service, à donner notre avis sur des questions très-variées et toutes nouvelles pour nous, nous n'avons pas toujours eu le temps ou l'occasion de consulter et de voir ce qui avait été dit ou fait dans des circonstances analogues, sinon identiques. C'est, nous le répétons, sur l'observation directe de ce qui se passait sous nos yeux, sur l'étude attentive des phénomènes dont nous étions témoin, que nous avons surtout basé les principes qui nous ont servi de point de départ.

Nous reconnaissons tout ce que notre travail doit avoir d'insuffisant au point de vue théorique. Il nous paraît seulement opportun d'expliquer ou de justifier cette insuffisance. Nous n'avons pas en effet la prétention de présenter un traité ou un cours complet d'hydraulique agricole, mais bien plutôt une esquisse de ce que ce cours nous paraîtrait devoir être. Nous avons choisi un cadre dans lequel nous avons essayé de grouper le résultat des observations que nous avions eu de prime-abord occasion de faire dans l'étendue de notre service administratif, et que peu à peu nous avons été conduit à poursuivre sur une zone beaucoup plus étendue.

Si ce premier travail synthétique auquel nous nous sommes livré ne devait pas avoir d'utilité pratique pour d'autres, il en a eu du moins une très-grande pour nous-même. A mesure que nous cherchions à coordonner entre

ces deux faits isolés en apparence, nous avons vu nos idées se modifier sur bien des points, se compléter sur d'autres, par une foule de faits d'observation, de chaînons intermédiaires que nous avions négligés jusque-là, et qui, réunis les uns aux autres, ont fini par former pour nous un corps de doctrine rationnel.

Cet ouvrage se divise naturellement en deux parties distinctes : l'une, surtout théorique, embrasse les principes généraux ; l'autre, exclusivement pratique, est relative à l'application de ces principes à quelques cas particuliers que nous avons eu plus spécialement à traiter dans notre carrière d'ingénieur. Plusieurs de ces projets, d'intérêt purement local, ne paraîtront peut-être pas susceptibles d'intéresser à un même degré nos lecteurs. Nous avons cru cependant nécessaire de les exposer avec quelques détails, à titre de démonstration des méthodes générales, pour qu'on pût en apprécier l'exactitude, et juger du parti qu'il serait possible d'en tirer dans des circonstances analogues à celles où nous nous étions trouvé.

La partie théorique, ainsi que l'indique le titre choisi, devrait à son tour comprendre deux divisions différentes, traitant séparément de l'hydraulique et de la géologie agricoles ; mais cette distinction ne saurait avoir rien de bien absolu. La liaison qui existe entre l'action des eaux courantes aux diverses époques du globe et la formation des terrains cultivables, est trop intime pour qu'on puisse les étudier séparément. Nous avons donc adopté une marche plus logique que scientifique, en étudiant dans l'ordre où elles se sont présentées à nous, dans l'ordre

naturel et chronologique, toutes les questions qui nous ont paru se rattacher à la formation des terres végétales, aux modifications qu'elles ont éprouvées, à celles qu'il serait possible de leur faire subir par un utile et heureux emploi de la force mécanique des eaux courantes, à laquelle elles doivent en général leur origine.

Notre premier chapitre, servant d'introduction, traite de la théorie du sol végétal. Nous inspirant des dernières recherches faites à ce sujet, et plus particulièrement des beaux travaux de M. de Liebig, nous nous sommes efforcé de résumer en quelques pages les conditions physiques et minérales qu'un bon sol végétal doit réunir.

Étudiant ensuite les terres végétales au point de vue de leur origine, nous avons fait ressortir le rôle important que les courants d'eau ont rempli dans leur formation, et les avons rapportées à deux classes distinctes, suivant qu'elles ont été produites par les courants diluviens qui à certaines époques ont remanié la surface du globe, ou par les courants modernes dont l'action se continue de nos jours.

Les terres d'origine diluvienne sont de beaucoup les plus nombreuses, mais les courants qui les ont produites ne peuvent être étudiés directement que par leurs effets ; et cette étude elle-même serait à peu près impossible, si nous n'avions pour guide et terme de comparaison l'action analogue des courants encore agissants. Notre attention s'est donc portée principalement sur ces derniers, que nous avons étudiés au point de vue de leur influence géologique, des phénomènes d'érosion, de trans-

port et de dépôt qu'ils produisent dans les matières minérales de la surface du globe.

Nous avons été assez heureux à cet égard pour dégager, en ce qui concerne le régime des eaux troubles, une série de lois générales inconnues ou peu remarquées jusqu'à ce jour, qui n'ont pas seulement une grande importance au point de vue agricole, mais qui intéressent à un haut degré l'industrie, la navigation, l'hygiène publique et la défense des lieux habités contre les inondations.

Les alluvions produites par les courants d'eau modernes constituent nos meilleurs types de bonnes terres végétales. Il est donc très-important de voir ce qu'on pourrait faire pour améliorer les dépôts d'alluvions existants, et déterminer la formation de dépôts analogues lorsque les circonstances locales le permettent. Mais, quoi qu'on puisse faire à cet égard, les terrains d'alluvions naturelles ne seront jamais qu'une exception. Disséminés en lanières étroites le long des fleuves et des rivières, accumulés parfois sur des étendues un peu plus considérables près des embouchures, ils ne représenteront jamais qu'une très-minime proportion de la surface totale des continents.

Toute autre, quant à la superficie occupée, est l'importance des terrains diluviens, groupés en vastes plateaux au pied des principales chaînes de montagne; distribués en larges zones entre les principaux affluents de nos fleuves, ils forment la majeure partie de nos terres arables. Leur fécondité est malheureusement loin de répondre à leur abondance relative. Provenant de matières minérales

incomplètement broyées, séparées mécaniquement par un phénomène de lévigation et de dépôts successifs, ils constituent en général des sols médiocres, des terres végétales incomplètement formées.

La nature, en les créant, n'a produit qu'une ébauche qu'il appartient à l'homme de perfectionner, en remaniant ces sols infertiles par l'apport et le répandage d'une quantité suffisante d'éléments minéraux convenablement broyés et choisis.

Cette opération serait à peu près impossible par les procédés mécaniques usuels; elle devient au contraire des plus simples par la mise à profit des forces naturelles.

Telle est l'idée première de la théorie des alluvions artificielles, but et conclusion principale de cet ouvrage, qui doit reconstituer la surface des terrains diluviens, fabriquer de toutes pièces la terre végétale nécessaire pour en assurer la fertilité.

La terre végétale est en effet un produit naturel analogue à tous ceux que nous avons appris à plier à nos besoins ; qu'il nous appartient dès-lors d'imiter et de reproduire, en imitant et reproduisant les procédés mêmes dont la nature s'est servie et continue à se servir sous nos yeux. Il s'agit, en fait, de créer un torrent artificiel, concentrant sous un petit volume l'action mécanique de nos plus grands fleuves, empruntant aux régions élevées des montagnes une quantité d'eau suffisante pour servir à désagréger, broyer, transporter et répandre sur les sols inférieurs, à l'état d'alluvions, les amendements minéraux nécessaires à leur fertilisation.

L'exposé général de la théorie des alluvions artificielles termine la première partie de ce traité. La seconde est réservée aux applications pratiques. Dans une succession de types convenablement choisis, nous avons d'abord passé en revue les diverses améliorations agricoles qu'il serait possible de réaliser par un meilleur aménagement des alluvions naturelles que les courants d'eau actuels charrient et déposent à l'état de limons fertiles sur leurs rives ou près de leurs embouchures.

Si grands que puissent être les résultats obtenus par cette voie, notamment dans les contrées avoisinant le littoral de la Méditerranée, ils ne sont que peu de chose en comparaison de ce qu'on doit attendre de la généralisation des alluvions artificielles. Les détails donnés sur la première application qui pourrait être faite de cette méthode à la fertilisation des landes de Gascogne, ne sauraient laisser de doute à cet égard.

Avec une dépense en frais de premier établissement à peine égale à celle que nécessiterait la construction d'un chemin de fer de troisième ordre, nous croyons avoir établi qu'il serait possible de régénérer cette vaste région de plus de 1,200,000 hectares de terres à peu près stériles aujourd'hui, de la mettre en état de donner une production agricole égale à celle du cinquième de la France entière. Une rapide énumération permet de reconnaître que la même transformation serait possible en bien d'autres points de notre territoire. En remplacement de 10 à 12 millions d'hectares de sols pauvres ou médiocres, nous pourrions obtenir une égale surface de terrains

éminemment fertiles, dont la mise en valeur par les procédés ordinaires triplerait notre production agricole.

Telle serait la conséquence immédiate de l'application des alluvions artificielles; mais ce résultat matériel n'est pas le seul qu'on doive attendre. La question se rattache à un ordre d'idées plus élevé qu'il nous a paru convenable d'indiquer sommairement.

Le développement de la population d'un pays et celui de sa prospérité agricole sont deux faits toujours intimement liés l'un à l'autre. La France traverse à cet égard une période de crise dont les causes peu connues préoccupent, à bon droit, l'opinion publique et le Gouvernement. La population est aujourd'hui à peu près stationnaire. Son accroissement, d'ailleurs bien faible, est même plus apparent que réel, il provient surtout d'une augmentation dans la durée de la vie moyenne. Tandis que, chez les peuples voisins, il en est qui ont vu doubler leur population en moins d'un siècle, le chiffre des naissances est chez nous ce qu'il était avant la Révolution.

Cette situation regrettable est la conséquence forcée de l'état d'infériorité relative de l'agriculture, dû lui-même à des causes que nous avons déjà signalées et qu'il est nécessaire de mieux préciser.

A mesure qu'un peuple progresse en civilisation, ses besoins matériels s'accroissent; une plus grande quantité d'objets de consommation de diverse nature lui devient nécessaire; et cependant, à population égale, sa puissance en travail manuel diminue plutôt qu'elle n'augmente. L'homme ne peut rétablir l'équilibre qu'en fai-

sant un meilleur usage de ses facultés, en donnant une plus large part au travail intellectuel, en s'étudiant à substituer à ses efforts musculaires ceux des agents mécaniques naturels dont il apprend à utiliser les forces de mieux en mieux.

L'ouvrier européen n'est ni plus habile, ni plus patient, ni plus laborieux surtout, que ne l'étaient ses devanciers aux siècles passés, que ne l'est encore, en d'autres points du globe, l'ouvrier indien ou chinois.

Notre supériorité résulte uniquement d'une meilleure organisation industrielle. Par la concentration dans un seul atelier de forces jadis éparses; par la division du travail et la généralisation des frais de direction ; par un large emploi surtout des moteurs inanimés, le manufacturier est parvenu à réduire dans une forte proportion la main-d'œuvre. Il peut livrer ses produits à des prix très-inférieurs à ceux d'autrefois, tout en augmentant le salaire de l'ouvrier.

Telle a été la marche de l'industrie manufacturière. L'agriculture n'a nullement suivi les mêmes phases de développement. Réduite, comme elle l'est aujourd'hui, à la connaissance plus ou moins incomplète des conditions de fertilité des sols naturels, aux pratiques usuelles de la culture, au bon aménagement et au judicieux emploi des engrais, elle est pour nous à peu près ce qu'elle est pour les Chinois : un métier professionnel, dans la pratique duquel l'intelligence de l'homme ne joue qu'un rôle secondaire, dans lequel l'empirisme peut parfaitement suppléer à la science.

Une telle situation n'offre pas de grands inconvénients chez un peuple aux mœurs simples et primitives. Le défaut de concurrence industrielle rend l'ouvrier moins exigeant dans ses prétentions. Il se contente d'un moindre salaire; le prix de revient des denrées s'abaisse et les marchés étrangers s'ouvrent aux excédants de production. Les blés de Russie, par exemple, obtenus à 10 et 12 francs l'hectolitre, peuvent, malgré le prix élevé des transports, attendre une occasion favorable pour s'écouler chez nous, de temps à autre, à 20 ou 25 fr.

Toute autre est la condition des peuples industriels, pour lesquels le marché agricole reste renfermé dans les limites invariables de la consommation nationale. Tout excédant de récolte, faute de débouchés, détermine un avilissement de prix relatif, qui décourage le producteur et l'engage, l'année suivante, à réduire ses cultures au-dessous du strict nécessaire.

Les crises agricoles dont nous avons périodiquement à souffrir n'ont pas d'autre cause. Elles ne cesseront que le jour où nous aurons notablement abaissé nos prix de revient, et ce résultat ne peut être atteint qu'à la condition d'obtenir en agriculture, comme nous le faisons en industrie, beaucoup plus de produits avec la même somme de main-d'œuvre.

Un tel changement nécessite une réforme radicale en agriculture; de professionnelle et individuelle qu'elle est aujourd'hui, il faut qu'elle devienne industrielle et collective.

L'*industrie*, entendue dans le sens que nous venons

de lui donner, est un mot dont l'acception est toute moderne. Deux choses la distinguent du *métier professionnel* qu'elle a récemment remplacé : l'usine et l'outillage.

Ces deux éléments essentiels de toute industrie, l'usine et l'outillage, sont nécessairement solidaires ; l'un ne peut marcher et progresser sans l'autre. Les engins mécaniques, qui se sont substitués dans une si grande proportion à la force musculaire de l'homme ou des animaux, ne sauraient pas plus s'appliquer aux outils de nos artisans d'autrefois, qu'ils n'auraient pu être directement installés dans les modestes intérieurs de famille qui leur servaient d'ateliers.

Dans l'organisation de l'industrie agricole, nous retrouverons pareille distinction et pareille solidarité entre l'usine, qui sera le sol végétal, et l'outillage, qui embrassera l'ensemble des appareils servant à le mettre en œuvre.

Diverses tentatives ont été faites dans ces derniers temps pour appliquer la force mécanique des engins industriels à l'exploitation agricole. Elles ont toutes échoué, et il en sera toujours de même tant qu'on voudra adapter ces moteurs au sol arable, tel que la nature et la main de l'homme l'ont constitué.

La charrue ordinaire, avec son attelage de bêtes de trait, convient seule au sol morcelé et de relief inégal que nous possédons aujourd'hui. Les engins à vapeur ne sauraient fonctionner que sur un terrain sensiblement horizontal, présentant un aménagement intérieur uniforme et déterminé.

S'il est facile de comprendre que l'on établisse sur un plan régulier, suivant un type bien arrêté d'avance, l'usine manufacturière, qui n'exige qu'un espace très-limité, il paraîtrait sans doute chimérique, au premier abord, de vouloir soumettre aux mêmes lois d'uniformité l'usine agricole, qui devrait embrasser l'immense étendue de tout le sol végétal.

Dans l'état actuel de la propriété agricole, dans l'état de division et de morcellement où se trouve le sol arable, pareille transformation serait certainement impossible. On ne saurait l'appliquer sans de grandes difficultés à nos meilleures terres, à celles sur lesquelles se sont déjà groupées des populations laborieuses dont on ne pourrait brusquement modifier les conditions d'existence et les habitudes de travail. Toute autre serait, au contraire, la situation des nouvelles terres végétales que l'emploi des alluvions artificielles permettrait de créer et de répandre sur les vastes étendues des plateaux diluviens. Leur sol est en général peu morcelé par l'homme, en même temps qu'il présente une remarquable uniformité de relief et de divisions naturelles.

L'alluvion artificielle nous fournirait donc le champ sur lequel seul l'agriculture industrielle pourrait s'exercer. Cette question essentielle résolue, resterait celle de l'outillage, qui n'offre plus les mêmes difficultés. Nous avons cru devoir esquisser les conditions générales dans lesquelles il nous paraîtrait possible d'installer le premier type d'une exploitation agricole industrielle. Le mode d'organisation que nous proposons est pratique : il ne

s'ensuit nullement qu'on ne puisse encore trouver mieux. La charrue industrielle se perfectionnera sans doute avec le temps, comme s'est perfectionné le métier du tisserand. L'important est d'avoir obtenu le cadre dans lequel elle pourra se mouvoir, qui jusqu'ici lui avait manqué, que les alluvions artificielles pourront seules lui donner.

Nous n'insisterons pas plus qu'il ne faut sur ce point de vue particulier de la question agricole. Dans sa donnée générale, il peut paraître s'écarter du but essentiellement pratique et immédiat de nos recherches. Il nous a paru toutefois nécessaire d'indiquer la direction finale qu'on sera nécessairement conduit à imprimer à la réforme agricole, dont chacun aujourd'hui comprend d'instinct la nécessité.

Notre ouvrage s'adresse à tous ceux qui ont à cœur la prospérité et le développement de notre pays. Mais c'est surtout au concours loyal et éclairé des ingénieurs, nos collègues, que nous croyons devoir faire un sympathique appel. Par la nature de leurs études, la communauté d'idées et de sentiments qui les unissent à nous, ils sont plus que d'autres à même d'apprécier ce qu'il y a de pratique et de rationnel dans nos conclusions.

Le corps des Ponts-et-Chaussées, auquel nous tenons à honneur d'appartenir, a contribué pour une large part au développement industriel qui sera une des gloires de notre époque. En menant à bien l'œuvre importante des chemins de fer, il a rendu de grands services au pays. Il est appelé à lui en rendre de plus grands encore, en se mettant à la tête de la réorganisation agricole.

C'est une tâche à laquelle il ne faillira certainement pas. Puisse-t-il trouver un point de départ dans les idées que nous venons lui soumettre! Puisse-t-il, en complétant et rectifiant ce que ce premier exposé peut avoir d'insuffisant, en faire sortir une œuvre durable qui, par son importance et ses résultats, marchera de pair avec l'entreprise de nos voies de fer.

TRAITÉ

D'HYDRAULIQUE ET DE GÉOLOGIE

AGRICOLES

PREMIÈRE PARTIE

PRINCIPES GÉNÉRAUX.

CHAPITRE PREMIER

THÉORIE DU SOL VÉGÉTAL.

I.

La géologie proprement dite s'occupe peu des terrains cultivables; elle n'étudie et ne classe que les roches du sous-sol qu'elle rapporte à deux grandes catégories: les roches éruptives et les roches de sédiment, les unes et les autres également impropres à toute végétation, dans l'état d'agglomération compacte et homogène où elles se présentent ordinairement.

Les végétaux, en effet, ne peuvent vivre qu'à la condition de faire pénétrer leurs racines dans un sol meuble et perméable, exigeant une complète désagrégation des roches.

Les agents atmosphériques, l'humidité, la gelée, les différences de température, et par-dessus tout le transport par les eaux courantes, peuvent, avec plus ou moins de temps, produire cette désagrégation par action mécanique. Mais l'état de division n'est pas la seule condition que le sol doive remplir pour être apte à la végétation; il faut aussi qu'il contienne tous les éléments chimiques propres au développement des végétaux, qualité que possèdent rarement les terrains qui proviennent de la désagrégation d'une seule roche opérée sur place.

La physiologie végétale nous apprend que les tissus végétaux se composent à la fois de principes volatils, habituellement désignés sous le nom d'*organiques*, dont les éléments se retrouvent dans l'atmosphère [1], et de principes fixes ou *minéraux*, provenant exclusivement du sol.

La proportion relative de ces deux sortes d'éléments est très-différente suivant les espèces végétales, et permet *à priori* de les diviser en deux classes distinctes, dont l'une contient huit à dix fois moins de matières minérales que l'autre.

Les arbres et certaines plantes sauvages appartiennent à la première catégorie, celle des *végétaux ligneux*, qui, sans utilité réelle pour la consommation animale immédiate, donnent, par la combustion, de 1 à 2 % de cendres minérales. Les plantes utiles et alimentaires constituent surtout la seconde classe, celle des *végétaux herbacés*, qui, par l'incinération, laissent un résidu minéral variant de 2 à 20 % de leur poids.

[1] Le carbone agit surtout à l'état d'acide carbonique et peut être considéré comme un élément volatil, au même titre que les autres éléments organiques, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote.

Le tableau suivant, emprunté aux Conférences de M. Georges Ville, rend compte de ces différences :

100 parties de végétaux desséchés contiennent :

ARBRES.	ÉLÉMENTS minéraux.	HERBES.	ÉLÉMENTS minéraux.
Peuplier	0,20	Foin	2,70
Érable	0,20	Maïs	4,10
Liége	0,20	Lin	4,10
Sapin	0,83	Seigle (feuille)	4,00
Bouleau	1,00	Froment (id.)	4,40
Faux Ébénier	1,25	Topinambours	8,40
Noisetier	1,57	Pois	8,10
Mûrier blanc	1,60	Luzernes	9,90
Sureau	1,60	Vesces	10,10
Acajou	1,60	Tabac (Havane)	11,25
Ébène	1,60	Id. départ. du Nord.	18,67
Moyenne	0,99	Moyenne	7,84

Cette première distinction suffit pour nous faire comprendre comment les sols considérés comme impropres à produire les plantes utiles, ne sont pourtant pas toujours dénués de végétation ; comment les arbres et certains végétaux ligneux, tels que les fougères et les bruyères, peuvent croître et prospérer dans un terrain où les plantes alimentaires ne réussiraient pas.

Un chêne, un cèdre, un sapin, dans les anfractuosités d'une roche résistante ; un pin, dans des sables arides, peuvent acquérir des dimensions énormes. Ils n'ont que peu de chose à emprunter au sol ; ils fixent à peu près uniquement du carbone qu'ils empruntent à l'atmosphère. La con-

stitution physique du sol, la manière dont il se comporte au point de vue de l'aération des racines, de la conservation de l'humidité, de l'absorption de la chaleur, ont beaucoup plus d'influence sur la croissance des végétaux ligneux que la composition minérale de ce même sol.

Le noyer qui se plaît dans les sols calcaires, le châtaignier dans les quartz et les schistes, le saule et le peuplier dans les terrains frais ou marécageux, ont une composition chimiquement peu différente quant au résidu fixe de leur combustion.

Non-seulement la quantité de matières minérales formant la cendre des bois est toujours très-faible; la nature même de ces substances peut encore varier avec celle du sol, pour la plupart des plantes vivant à l'état sauvage, et chez quelques-unes de celles qui, bien que cultivées, ne servent pas à l'alimentation proprement dite, telles que le tabac et la vigne.

La proportion des matières minérales est au contraire rigoureusement invariable dans toutes les plantes alimentaires. La composition des cendres de graines et de fourrages est constante pour une même espèce, ou ne varie que dans de très-étroites limites[1].

Ce nouveau caractère, dont nous devons la détermination à M. de Liebig, établit une distinction aussi marquée que le précédent entre la végétation spontanée et la culture. A la première appartiennent surtout les végétaux ligneux, qui, vivant de l'atmosphère, n'empruntent au sol qu'une très-

[1] Chacun des éléments minéraux assimilés paraît être, en outre, dans un rapport défini avec les quantités des divers composés organiques du végétal : la potasse, en relation directe avec la production du sucre; le phosphore, avec celle des substances azotées, etc. (Liebig; *Lois naturelles de l'agriculture.*)

minime quantité d'éléments minéraux dont la nature n'a elle-même rien d'absolu ; à la culture au contraire revient la production des végétaux utiles et alimentaires, exigeant l'assimilation d'une quantité considérable d'éléments minéraux en proportion nettement définie.

On conçoit dès-lors la différence que doit présenter le sol, suivant qu'il est destiné à porter l'une ou l'autre végétation. Sa constitution physique importe presque seule dans le premier cas, puisqu'il ne doit fournir qu'un point d'appui aux végétaux ligneux, un milieu dans lequel leurs racines puissent se développer dans des conditions convenables, suivant l'espèce.

Les végétaux alimentaires ou herbacés exigent en outre une suffisante variété d'éléments minéraux dans un état tel que la plante puisse se les assimiler.

C'est seulement aux terrains réunissant à la fois ces conditions physiques et minérales, nécessaires au développement des espèces alimentaires, qu'on devrait réserver le nom de *terres végétales*. On donnerait le nom de *terrains géologiques* à ceux qui ne sont propres qu'au développement des végétaux ligneux, qui auraient besoin d'une transformation ou d'un amendement quelconque pour passer à l'état de terres végétales.

II.

Les vérités fondamentales que nous venons de rappeler ne sont connues que depuis peu de temps, dans leur remarquable simplicité. Il y a peu d'années encore, on ignorait le véritable rôle des éléments minéraux. Tout en reconnaissant la nécessité d'établir une distinction entre les végétaux qui croissent spontanément et ceux qui ne se dé-

veloppent que par la culture, on s'efforçait de trouver la raison de cette différence, plutôt dans le mode d'assimilation des substances volatiles que dans la proportion des éléments fixes. On ne pouvait, par exemple, méconnaître l'origine du carbone que les végétaux ligneux empruntent nécessairement à l'atmosphère; mais, dans les plantes alimentaires, on le considérait comme provenant de l'*humus*, dénomination vague donnée au produit mal défini de la désagrégation partielle des tissus ligneux enfouis dans le sol.

On attribuait à l'azote une origine analogue : il ne devait provenir, dans l'ancienne théorie, que des combinaisons ammoniacales en dissolution dans le sol.

La proportion d'humus, de débris ligneux, étant en général surabondante dans les sols en plein rapport, on ne pensait pas avoir à s'en inquiéter. Toute la difficulté paraissait consister à leur restituer une proportion suffisante de composés azotés dans les engrais. Quant aux substances minérales, il n'en était pas question. On ne croyait pas à leur fixité relative ; au besoin même, certains chimistes, s'appuyant sur des expériences mal faites, ne reculaient pas devant le problème de la transmutation des corps, pour admettre que le sol devait créer lui-même les substances qui lui faisaient naturellement défaut.

Telle était à peu près la doctrine universellement admise il y a une vingtaine d'années; la valeur des engrais se chiffrait au prorata de l'azote qu'ils contenaient.

Dès cette époque cependant, nous eûmes occasion de faire une expérience qui nous fit apprécier l'insuffisance de cette théorie. Nous cherchions le moyen d'utiliser les eaux ammoniacales d'une usine à gaz. Après les avoir filtrées sur des platras et avoir décomposé par la chaleur le produit de

l'évaporation, nous obtînmes un résidu charbonneux contenant une forte proportion de sulfate d'ammoniaque en petits cristaux, qui, d'après les idées admises, nous parut devoir constituer un engrais d'une grande valeur.

L'essai en fut fait sur une prairie récemment fauchée. Quelques carrés tracés à la surface reçurent le mélange charbonneux. Peu de jours après nous revînmes sur les lieux, et les résultats, de prime-abord, nous parurent démontrer l'efficacité de l'engrais. Renouvelant les résultats de la célèbre expérience de Franklin sur les effets du plâtre, les carrés se dessinaient de loin fortement en relief sur l'ensemble du pré. Mais grande fut notre surprise lorsque, nous étant approché, nous vîmes que cette exubérante végétation ne se manifestait que sur le périmètre des emplacements choisis. L'herbe du centre n'était ni plus drue, ni plus vigoureuse que celle du restant de la prairie. Nous nous rappelâmes alors que le jour où nous avions employé notre engrais prétendu, nous avions dessiné les cadres avec la première substance tombée sous la main, qui se trouvait être de la cendre de bois. C'était à cette cendre et non au sulfate d'ammoniaque qu'il fallait attribuer la partie favorable des effets obtenus.

Si nous rappelons cette expérience, ce n'est pas qu'elle ait par elle-même beaucoup d'importance, ni qu'elle ait été pour nous, sur le moment, d'un grand enseignement. Mais elle eut pour résultat de nous mettre en garde, dès cette époque, contre les principes trop absolus de la doctrine des engrais azotés, alors dans toute sa vogue. Elle nous revint plus tard en mémoire, lorsque nous eûmes à apprécier les mérites de la théorie minérale qui lui a succédé, et dont nous devons à M. de Liebig d'avoir posé les bases principales.

III.

Les matières minérales assimilées par les végétaux viennent nécessairement du sol. La question est moins évidente quant à l'origine des substances organiques. Elle ne saurait être douteuse pour le carbone, tout au moins dans la plupart des végétaux ligneux, qui ne peuvent puiser ailleurs que dans l'atmosphère la masse énorme de carbone fixée dans leurs tissus.

On doit se garder sans doute de déduire d'un seul fait des conclusions trop générales ; d'admettre, par exemple, que tous les éléments organiques viennent directement de l'atmosphère, comme les éléments minéraux viennent du sol.

Il est cependant une distinction essentielle que le simple raisonnement nous permet d'établir d'une manière générale. Les éléments minéraux doivent être nécessairement apportés du dehors dans les sols où ils font défaut, car nous ne connaissons pas d'action mécanique qui puisse les reconstituer sur place lorsqu'ils ont été épuisés. Les éléments organiques, au contraire, peuvent indéfiniment se renouveler d'eux-mêmes, par un emprunt à l'atmosphère, non peut-être par la culture d'un seul végétal, mais par celle d'un ensemble convenable de divers végétaux. Une considération fort simple nous rendra compte de cette différence.

Supposons une terre végétale riche en éléments minéraux de toute sorte, en bon état de culture, et qui, par un assolement n'ayant rien d'anormal, soit cultivée moitié en céréales, moitié en herbages consommés sur place pour l'engraissement des bestiaux. Les fumiers produits par les troupeaux suffiront, et au-delà, pour entretenir indéfiniment la végétation ; et cependant, tous les ans des quantités con-

sidérables de carbone et d'azote seront exportées à l'état de blé et de viande, sans que le sol en soit le moins du monde appauvri en matière organique.

Une culture convenablement variée peut donc, dans son ensemble, reconstituer les éléments organiques ; mais tous les végétaux n'agissent pas de même à cet égard, il en est qui puisent directement leur azote dans l'atmosphère : telles sont la plupart des plantes fourragères. Il en est d'autres, et les céréales paraissent être surtout dans ce cas, qui ne peuvent s'assimiler les substances azotées qu'après une élaboration préalable dans un autre organisme.

Nous retrouvons ici comme une sorte d'analogie entre les espèces végétales et les espèces animales. Aux animaux herbivores et carnassiers, qui constituent deux classes différentes des êtres animés, correspondent deux classes de végétaux distincts, suivant qu'ils s'assimilent les éléments organiques directement ou après une élaboration préalable.

Les végétaux de la deuxième classe étant surtout ceux qui, plus riches en matière azotée et en principes minéraux, contribuent à la nourriture de l'homme et des carnassiers, on pourrait, au point de vue de la nutrition générale, les assimiler aux animaux de la première classe, et établir trois degrés seulement dans l'ensemble des deux règnes.

	1er degré.	2e degré.		3e degré.
Règne végétal.	Végétaux ligneux ou herbacés inférieurs vivant directement de l'atmosphère.	Végétaux herbacés supérieurs	se nourrissant de la décomposition des végét. du 1er degré.	»
Règne animal.	»	Animaux herbivores		Animaux supér. consommant indistinctement les végétaux sup. et les animaux infér. du 2e degré.

Quoi qu'il en soit de la valeur de ces rapprochements, la reproduction des substances organiques assimilables par la culture est un fait hors de doute. Qu'ils soient absorbés par les racines, ou directement par les parties vertes extérieures, les éléments de ces substances proviennent toujours, en fin de compte, de l'atmosphère.

Un certain fonds de roulement peut être nécessaire dans le sol ; mais, ce fonds existant, il suffira d'une alternance des cultures pour maintenir la masse moyenne de l'approvisionnement, quelle que soit la quantité exportée à l'état de produits. Toute la difficulté se réduit à une question pratique d'assolement, dont la solution complexe ne doit pas nous occuper ici.

Il en est tout autrement des éléments minéraux. Les substances enlevées ne se renouvellent pas, et, si le sol n'en contient pas lui-même une quantité inépuisable, il est nécessaire de réparer les pertes par un apport de l'extérieur.

IV.

Une variété convenable d'éléments minéraux, en dehors des substances organiques, est donc une condition indispensable à la constitution d'un bon sol végétal ; mais elle n'est pas suffisante : un mélange de roches broyées et triturées en poudre impalpable, par nos agents mécaniques ordinaires, ne fournirait pas une terre végétale immédiatement propre à la production de toutes les plantes alimentaires.

Le sous-sol d'un champ en bon état de culture, lorsqu'il est ramené à la surface par un labour profond, bien que l'analyse chimique y démontre l'existence d'une grande proportion de tous les amendements minéraux utiles, n'a-

méliore pas tout d'abord la terre arable; bien souvent, au contraire, il agit sur elle comme un véritable poison. Dans ces deux cas, l'action du temps, les engrais, le travail de la culture, les influences atmosphériques, peuvent à divers degrés modifier ce sol momentanément infertile, et le transformer peu à peu en terre végétale.

Il ne suffit donc pas que le sol renferme en proportions déterminées tous les éléments organiques ou minéraux nécessaires; il faut encore qu'il les contienne, sinon en liberté, du moins dans un état de combinaison chimique tel que l'action végétale puisse en séparer les éléments.

Cette action végétale peut être, en effet, considérée comme résultant d'une force naturelle qui tend à détruire les combinaisons chimiques pour en dégager les éléments nécessaires à la nourriture de la plante; mais cette force ne saurait produire ce résultat sur toutes les combinaisons chimiques au même degré; elle agit d'ailleurs avec une intensité différente suivant les espèces végétales. Si certaines d'entre elles, les plantes sauvages, la luzerne, le trèfle, peuvent prospérer dans des terres vierges dont elles désagrègent les composés minéraux, le plus grand nombre des plantes alimentaires ne peuvent vaincre que des affinités chimiques beaucoup plus faibles.

L'action des agents atmosphériques, et parfois celle de phénomènes chimiques accessoires, peuvent venir en aide à la force végétale, pour lui permettre de surmonter des affinités qu'elle n'aurait pu vaincre à elle seule.

Ces réactions expliquent le rôle de certains amendements qui, à part leur action directe comme éléments constituants, peuvent aider à la diffusion de diverses substances non-seulement minérales mais organiques. Tel serait par exemple, d'après M. de Liebig, le mode d'action de la chaux

et de la magnésie, dont l'affinité pour l'acide nitrique, jointe à l'action végétale, pourrait détruire l'azotate de potasse; décomposition qui, produit de l'action de deux forces agissant de concert, n'aurait pas lieu sous l'influence de l'une d'elles agissant isolément.

Telle paraîtrait être en principe, bien que le mode d'action en soit peu connu, la cause de l'efficacité du plâtre et des sulfates en général. Ils doivent plus encore opérer par les décompositions chimiques qu'ils facilitent, que par les éléments eux-mêmes qu'ils fournissent à la plante.

Il serait donc rationnel de rapporter les engrais à deux classes distinctes, suivant qu'ils fourniraient directement les principes nutritifs aux plantes, ou qu'ils faciliteraient le dégagement de ceux qui se trouvent à l'état inerte dans le sol. Mais cette distinction serait bien difficile à établir, car un grand nombre de substances fertilisantes jouent les deux rôles à la fois.

C'est surtout à l'action des amendements de la seconde catégorie qu'il nous paraîtrait convenable de rattacher celle de l'humus considéré comme un simple produit de décomposition de matières ligneuses riches en carbone. Sa présence en quantité plus ou moins considérable dans le sol n'est point une condition essentielle ou un indice certain de fertilité. Par cela même qu'elles sont végétales, les bonnes terres renferment les débris des végétations antérieures; mais ce caractère est loin de leur être exclusivement propre. Les terres les plus infécondes, au point de vue de la production des plantes alimentaires, les sables de Gascogne, dont nous aurons à nous occuper plus tard, renferment une quantité d'humus certainement beaucoup plus considérable que les terres les plus fertiles de toute autre contrée. Cet humus n'a par lui-même aucune valeur

nutritive comme engrais; mais il sert d'aliment à une combustion lente qui est la source d'un dégagement continu de chaleur et d'acide carbonique. Cet acide, à l'état naissant, doit avoir une très-grande influence sur les décompositions ou réactions chimiques qui rendent actifs et assimilables les éléments inertes du sol.

V.

Les matières assimilables, dont la proportion relative constitue seule la puissance productive d'une bonne terre végétale, peuvent exister sur place ou être apportées du dehors à l'état d'amendement. Quelle que soit leur origine, elles ne paraissent pas se trouver en état de complète liberté dans le sol, alors même qu'elles ne sont engagées dans aucune combinaison chimique.

Le sol lui-même agit sur elles par une affinité moléculaire, une action de porosité capillaire analogue à celle qui permet au charbon finement pulvérisé d'attirer certaines substances organiques en dissolution ou en suspension, et de les retenir fortement.

Cette analogie, au point de vue de l'attraction exercée entre le charbon et la terre végétale, résulte de nombreuses expériences de M. de Liebig.

Le purin filtré sur la terre végétale ne laisse passer qu'un liquide incolore, sans odeur, qui a perdu la presque totalité des principes minéraux ou organiques, potasse, acide phosphorique, ammoniaque, qu'il contenait.

Même résultat s'obtient sur une dissolution quelconque de sels organiques ou minéraux, qui sont retenus et en quelque sorte fixés dans le sol par le fait de la filtration.

Dans les nombreuses expériences que nous-même avons

eu occasion de faire sur le dessalement des terrains du littoral de la Méditerranée, nous avons constaté la difficulté de débarrasser le sol végétal des dernières parties de sels solubles retenus par cette adhérence moléculaire. En opérant par lessivage et filtration, sur la terre très-meuble et très-divisée du marais de Vic, contenant de 0,005 à 0,020 de sels, nous avons dû employer jusqu'à 10 et 15 litres d'eau distillée par litre de terre, avant d'arriver à un épuisement à peu près complet des sels solubles.

Cette faculté d'absorption du sol végétal est purement physique, car les parties attirées n'entrent pas en combinaison et conservent leurs propriétés chimiques. Elle est d'ailleurs d'autant plus grande que le sol est plus meuble, composé de particules plus ténues ; elle ne se retrouve qu'à un très-faible degré, aussi bien dans les argiles dures et compactes que dans les sables grenus non poreux.

C'est grâce à cette action que la terre végétale se charge également, dans toutes ses parties, des matières assimilables mises à sa disposition. Chaque molécule du sol peut être considérée comme étant enduite ou imprégnée d'une quantité variable de substances alimentaires retenues par une affinité physique qui suffit pour résister avec une certaine énergie à l'action dissolvante des eaux, sans opposer cependant un obstacle insurmontable à l'action végétale.

Cette sorte d'attraction physique exercée par le sol a une double importance. Non-seulement elle aide à la diffusion des substances assimilables dans la masse du sol, mais elle en empêche la déperdition par les eaux courantes ; elle explique comment le drainage artificiel peut avoir de bons effets, sans produire complètement les résultats nuisibles qu'il amènerait si les eaux d'égouttage emportaient avec elles tous les sels solubles du sol.

M. de Liebig cite un grand nombre d'expériences à l'appui de cette innocuité à peu près complète du drainage, procédé d'amélioration agricole qui permet aux racines de pénétrer dans les couches plus profondes du sol, et rend assimilables de nouvelles substances minérales, sans faciliter outre mesure l'entraînement de celles qui l'étaient déjà.

A part cette attraction toute physique qu'elle exerce sur certaines substances, la terre doit réunir d'autres conditions spéciales destinées à favoriser l'action de certains agents naturels qui contribuent, à divers points de vue, au développement de la vie végétale. Ces agents sont principalement l'eau, l'air atmosphérique, la chaleur et la lumière solaire. En même temps qu'ils fournissent une partie des éléments organiques, l'eau et l'air interviennent dans toutes les réactions chimiques [1] qui se produisent dans le sol, réactions auxquelles la chaleur et la lumière solaire fournissent aussi leur contingent.

La présence d'une certaine quantité d'eau dans le sol est en effet un élément essentiel de production végétale; mais il faut qu'elle s'y trouve dans un état particulier; que, combinée en quelque sorte d'une manière intime avec les molécules, elle n'obstrue pas les pores, les conduits capillaires qui les séparent. Il faut, en d'autres termes, que le terrain soit imbibé d'eau et non noyé.

La quantité d'eau que le sol végétal peut ainsi conserver, par une affinité physique de tous points identique à celle qui retient les substances alimentaires en général, est très-variable avec la nature de ce sol.

[1] Ces réactions étant naturellement très-lentes, le temps lui-même devient ainsi, dans une certaine mesure, un élément indispensable de fertilisation du sol.

Certains terrains calcaires peuvent retenir jusqu'à 600 kilogr. d'eau par mètre cube, sans qu'il y ait excédant évacué par le drainage.

La proportion est beaucoup plus faible pour les argiles, qui, entre le point de dessiccation complète et celui de submersion, n'absorbent pas plus de 150 à 200 kilogram. d'eau par mètre cube. Quant aux sables purs, leur action absorbante est à peu près nulle. Les couches supérieures se dessèchent complètement, tandis que l'eau s'accumule dans les couches inférieures au point de les noyer.

Entre ces termes extrêmes, on conçoit de quelle importance il doit être que le sol puisse conserver à l'état de combinaison physique une quantité d'eau suffisante pour parer à tous les besoins de la végétation et aux pertes résultant de l'évaporation, en attendant que cette réserve puisse être renouvelée par l'eau pluviale, à défaut d'une irrigation artificielle.

La présence de l'air n'est pas moins nécessaire que celle de l'eau dans le sol : la plupart des végétaux périssent asphyxiés dans un sol noyé. Des expériences récentes ont démontré qu'on pouvait, dans certains cas, imprimer une activité toute nouvelle à la végétation, en opérant un aérage artificiel des couches inférieures du sol, par l'appel d'une cheminée placée sur l'orifice du tuyau collecteur d'un réseau de drainage.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'importance de l'action calorifique et lumineuse des rayons solaires. L'état physique du sol n'est pas sans une influence directe sur cette action, et sous ce rapport il doit agir à la fois par sa conductibilité et par sa couleur.

Toutes choses égales d'ailleurs, un terrain foncé absorbera plus facilement qu'une terre blanche les rayons calo-

rifiques et la lumière. La coloration du sol est donc loin d'être une chose aussi indifférente qu'on pourrait le croire, et c'est à ce point de vue surtout que la présence d'une certaine quantité de fer, qui est le principe colorant le plus habituel, peut avoir son utilité.

En résumé, on peut ramener à quatre principales les conditions physiques que doit présenter un bon sol végétal, savoir : la consistance, qui donne aux racines un point d'appui solide et résistant ; la porosité, faculté qu'a le sol de retenir à l'état de combinaison physique l'eau et les substances alimentaires ; la *perméabilité*, état de division qui permet à l'air et aux fluides gazeux de circuler et de se renouveler dans le sous-sol ; la *coloration*, enfin, qui facilite l'absorption des rayons solaires.

VI.

Le procédé le plus simple de maintenir la fertilité du sol végétal serait sans doute de lui restituer à l'état de combinaisons physiques immédiatement assimilables, les éléments qu'il perd. Mais la quantité des engrais propres à jouer ce rôle est très-limitée, et il est en général beaucoup plus simple de fournir ces éléments tels que nous les offre la nature à l'état de combinaisons chimiques, dont il ne reste plus qu'à faciliter la décomposition.

Les actions chimiques, celles qui proviennent par exemple de la désorganisation des substances végétales ou animales, des influences atmosphériques, du fait même de la culture, aident surtout à cette dissociation des éléments minéraux, qui les rend assimilables.

Bien d'autres causes peuvent produire ce résultat ; mais dans le nombre, il en est une sur l'efficacité de laquelle nous

croyons devoir d'autant plus insister qu'elle paraît moins connue ; nous voulons parler de l'action mécanique des eaux courantes. La trituration prolongée des masses minérales au contact de l'eau, si elle ne suffit pas toujours à produire la dissociation chimique, paraît du moins la préparer. On ne saurait expliquer autrement l'action exceptionnelle et proverbiale exercée par les alluvions récentes, lorsqu'elles viennent à se déposer sur un sol de composition identique. Cette action est d'autant plus énergique que le bassin qui fournit les éléments de l'alluvion est plus étendu, plus riche en formations géologiques différentes ; qu'il contient une proportion plus variée d'éléments minéraux, naturellement infertiles, mais qui, en totalité ou en partie, deviennent assimilables et actifs par le fait de la trituration et du transport par les courants.

Comment se produit ce changement ? est-il le résultat d'une simple action physique et moléculaire, ou celui d'une réaction chimique ? Nous ne saurions le dire ; nous ne pouvons que constater le fait.

Sans rappeler ici des types célèbres, sans parler des limons du Nil ou même de ceux de la Durance, nous prendrons des exemples plus rapprochés de nous.

Sur la rive gauche de l'Hérault, à peu de distance de son embouchure dans la Méditerranée, il existe autour de la petite ville de Florensac une plaine complétement ravinée et dévastée par les crues de la rivière. A plusieurs reprises, l'Administration locale s'est préoccupée des moyens de défendre ce territoire contre l'irruption des eaux. Appelé par notre service à nous occuper de ces études, nous avons toujours vu les propriétaires intéressés nous dire qu'ils aimeraient mieux renoncer à toute amélioration, laisser leurs terres à la merci des crues de la rivière, que d'accepter des

travaux qui les priveraient complètement des eaux limoneuses, sans lesquelles leurs terres perdraient une grande partie de leur fertilité.

Même résultat nous a été confirmé sur les rives du Vidourle. Les plaines riveraines sont endiguées; mais il est de notoriété publique que lorsque la rivière rompt ou surmonte ses digues, les terrains qu'elle recouvre sans les raviner, sont améliorés et fumés pour dix ans par les limons.

Pareille chose se produit de toutes parts, sur la Durance comme sur le Rhône, dont les ségonnaux compris dans le champ de l'inondation entre les digues, submergés parfois à plusieurs reprises dans le courant d'une même année, ont plus de valeur que les terrains situés en dehors de la zone submersible.

Cette action toute particulière des alluvions récentes est incontestable. On ne saurait l'attribuer uniquement à la quantité de matières organiques que ces alluvions contiennent. Ainsi que nous le verrons plus tard, la proportion de ces matières est très-faible. Les alluvions, en effet, proviennent moins de bonnes terres végétales déjà toutes formées à la surface du sol, que du mélange et de la trituration de matières minérales arrachées par les ravins au sous-sol de terrains géologiques infertiles par eux-mêmes. La fertilisation momentanée qu'elles produisent est d'ailleurs subordonnée à la variété géologique des divers terrains qui ont fourni les débris. Dans le bassin exclusivement crétacé de la Marne, les alluvions de cette rivière ne produisent aucun effet améliorant sur les terres riveraines; et cependant, à masse égale, elles doivent contenir autant et plus de matières organiques que les eaux des torrents ou des rivières torrentielles du midi de la France, dont les régions supérieures sont désertes ou peu habitées, en com-

paraison des bords de la Haute-Marne, couverts d'usines et de populations.

Mille exemples semblables pourraient démontrer qu'il faut nécessairement attribuer en très-grande partie aux éléments minéraux la valeur agronomique toute spéciale de la plupart des alluvions récentes. En admettant l'exactitude du fait, on doit pourtant se demander pourquoi les terres riveraines qui, sur une épaisseur indéfinie, sont composées des mêmes alluvions, perdent si rapidement leur faculté de produire.

La quantité de matières minérales enlevée par une récolte unique aussi bien que par dix récoltes, est insignifiante par rapport à la masse totale. L'analyse chimique n'indique aucune différence appréciable entre les alluvions anciennes et les alluvions nouvelles qui les recouvrent ; elles contiennent les unes et les autres la même quantité de potasse, de silice, de phosphate, etc., et l'on ne voit pas de prime-abord pourquoi les unes sont productives quand les autres ne le sont pas.

Cette anomalie apparente trouve son explication dans la théorie de M. de Liebig[1]. L'effet des alluvions nouvelles ne tient pas à la quantité totale d'éléments minéraux qu'elles renferment, mais à la proportion relative de celle de ces substances qui ont été rendues assimilables par le transport. Une fois cette quantité, probablement très-

[1] Une expérience récente vient de jeter un jour nouveau sur cette question. M. Daubrée a constaté que, par le fait de leur trituration au contact de l'eau, les matières feldspathiques, transformées en boues fluides, dégageaient à l'état d'alcali libre une partie de la potasse qu'elles contenaient en combinaison. L'action naturelle des courants torrentiels sur les matières entraînées doit produire un effet analogue ; entre autres résultats, elle doit mettre en liberté et rendre par suite assimilable aux végétaux une certaine proportion de potasse.

minime, épuisée, les alluvions perdent leur action directe sur la végétation. Si rien ne les renouvelle, elles rentrent dans la catégorie des bonnes terres végétales ordinaires, qui exigent les soins de la culture. Il faut les régénérer par les amendements et les engrais, soit qu'ils agissent par eux-mêmes comme substances alimentaires, soit qu'ils contribuent à faciliter les dissociations chimiques destinées à rendre actives et assimilables une partie des substances minérales existant dans le sol à l'état de combinaison inerte.

Il ne faudrait pourtant pas exagérer la portée de cette explication, et admettre une distinction trop absolue entre les alluvions récentes et les alluvions anciennes de même nature et de même origine. Les différences d'action que l'on remarque entre elles tiennent parfois beaucoup aux conditions physiques du sol végétal. Il ne suffit pas qu'une terre renferme tous les éléments minéraux nécessaires au développement de la végétation; il faut encore qu'elle les contienne dans un état convenable de désagrégation et d'indépendance naturelle, et c'est surtout sous ce rapport que les sols uniquement composés d'alluvions profondes peuvent laisser à désirer.

Tel est le cas le plus habituel des alluvions réputées les plus riches, celles de la Durance. Répandues en couches minces sur un terrain cultivé, elles agissent sur lui comme un engrais ; réunies en grande masse, elles constituent rarement par elles-mêmes une terre immédiatement fertile. Un certain temps d'incubation et de culture préalable est souvent nécessaire pour transformer en terre végétale le produit d'un colmatage opéré sur une grande épaisseur.

L'observation rend aisément compte des causes de ce dernier fait. Les limons de la Durance renferment en eux tous les éléments minéraux utiles à la nutrition des plantes ;

mais ils ont une tendance à s'agréger en dépôts sédimentaires, compacts et imperméables, qui durcissent et prennent l'aspect de la pierre au soleil, se transforment en terres gluantes pendant les pluies, et ne laissent pénétrer ni l'eau ni l'air dans leur masse intérieure.

La culture et l'emploi des engrais finissent à la longue par détruire cette tendance à l'agrégation, toutes les fois qu'on ne peut la combattre d'une manière plus efficace, par le mélange d'un corps étranger tel que le sable quartzeux. Cette matière ou toute autre analogue, inerte par elle-même, opère en quelque sorte une action de présence. Elle rompt l'homogénéité du sol, s'oppose aux actions attractives de ses molécules les unes pour les autres, les tient à distance, et empêche les mouvements trop étendus de dilatation ou de retrait, qui sont les causes principales du durcissement et du fendillement alternatifs des alluvions trop pures.

En général, comme nous le verrons plus tard, les deux éléments différents : le limon fertile et le sable inerte, coexistent dans les eaux courantes ; et c'est surtout lorsque leur dépôt s'opère simultanément ou en couches successives que la culture peut mélanger plus tard, que l'on obtient des terres végétales irréprochables.

VII.

Nous ne croyons pas devoir abandonner les questions qui viennent de nous occuper, sans quelques dernières explications qui, tendant à reproduire les principes de la théorie végétale de M. de Liebig en d'autres termes, pourront paraître hasardées dans la forme qui nous est propre, mais qui n'en sont pas moins en accord essentiel avec les bases générales de la philosophie naturelle.

Il s'agit, en effet, de ramener à un même principe de dynamique les forces diverses qui, sous les dénominations et les apparences de force végétale, de chaleur, de lumière, de réactions chimiques et d'action mécanique des eaux courantes, interviennent dans le phénomène de la végétation.

Les progrès des sciences physiques nous rapprochant de plus en plus, chaque jour, des idées de Descartes touchant le mouvement, nous conduisent à reconnaître dans toute sa généralité le principe de mécanique sur la conservation des forces vives.

En dehors des mouvements extérieurs des corps, se traduisant par des phénomènes visibles de translation ou de rotation de leurs agrégations visibles, on est forcé d'admettre l'existence dans leur masse intérieure d'ébranlements statiques, de vibrations sur place, imprimées à certaines molécules matérielles.

Toute force vive extérieure, perdue dans un choc, se traduit par une accélération équivalente du mouvement interne, qui n'est autre chose que de la chaleur ; et, réciproquement, tout dégagement de chaleur équivaut à une perte égale de la force vive interne du corps.

Telles sont les bases essentielles de la théorie dynamique de la chaleur, assez généralement admises aujourd'hui pour que nous n'ayons pas besoin de les développer davantage.

Nous considérons donc comme un fait pratique, dont la science moderne rend de jour en jour la démonstration plus évidente, cette identité absolue de la chaleur et du mouvement se transformant l'un dans l'autre, sans jamais rien perdre de la force vive initiale.

Ce point admis, le phénomène de la végétation peut être considéré comme exigeant, avant tout, la dépense

d'une certaine quantité de force vive ou de chaleur nécessaire à la dissociation des éléments constitutifs des végétaux retenus dans d'autres corps par l'affinité chimique. La plus importante de ces dissociations est l'isolement du carbone, qui doit être dégagé de l'acide carbonique pour être fixé dans le tissu végétal.

Le carbone, en effet, dont la combustion par l'oxygène dégage une grande quantité de chaleur ou de force vive, doit être considéré comme emmagasinant dans les végétaux cette force vive à l'état de chaleur latente. Fixation de carbone par un végétal, sera donc l'équivalent d'une absorption de force vive par ce même végétal; de même que la combustion du carbone correspondra à un dégagement de force vive.

L'action employée à dégager le carbone de l'oxygène, pour le fixer dans les tissus, n'est pas le seul effet mécanique qui se produise dans la végétation. Toutes les transformations que subissent les substances minérales engagées dans leurs combinaisons chimiques, exigent également une dépense de force vive ou de chaleur.

C'est surtout au soleil, sous forme de chaleur ou de lumière, que les plantes empruntent la force vive nécessaire à leur développement : directement dans les parties vertes extérieures, indirectement dans les racines par l'intermédiaire du sol végétal.

Quel est, à ce dernier point de vue, le mode d'action de la terre végétale? Agit-elle par simple voie de transmission immédiate, ou jouit-elle de la faculté d'emmagasiner pendant un temps plus ou moins long la force vive perçue?

Les deux hypothèses sont également possibles, mais la dernière est de beaucoup la plus vraisemblable. Elle est d'ailleurs conforme aux expériences de M. Niepce de Saint-

Victor, qui a démontré que certaines substances peuvent retenir et emmagasiner la force vive des rayons chimiques du soleil. N'est-il pas naturel d'admettre que le sol végétal, analogue par sa constitution physique aux tubes noircis dont s'est servi M. Niepce dans ses expériences, joue un rôle semblable ? Cette supposition est d'autant plus probable qu'elle nous paraît seule pouvoir rendre compte de la nécessité d'une certaine insolation de la terre végétale, avant qu'elle ne devienne productive.

Les terrains de marais récemment desséchés, plus souvent encore les sols de forêts nouvellement défrichés, restent parfois improductifs tant que de nombreux labours n'en ont pas renouvelé la surface. Sur les sols en état de culture, les façons superficielles qui, sans pénétrer jusqu'aux racines, ont pour effet de rapprocher d'elles les couches supérieures régénérées par l'action du soleil, sont également un stimulant des plus utiles à la végétation. Comment expliquer, dans l'un et l'autre cas, la nécessité ou les avantages de cette insolation continue du sol, si l'on n'admet qu'elle a pour résultat d'emmagasiner, dans ses diverses couches, une partie de la chaleur ou de la lumière à l'état de force vive latente, que la végétation pourra plus tard utiliser et mettre en œuvre ?

Mais cette action des rayons solaires n'est pas seulement communiquée aux plantes, soit par les feuilles, soit par le sol végétal ; elle nous paraît pouvoir se prolonger d'une manière plus indirecte par d'autres intermédiaires constituant de nouvelles réserves.

Tel nous paraît être surtout le rôle, déjà indiqué, de l'humus composé de débris charbonneux provenant de végétations antérieures. Par sa lente combustion dans le sol, il constitue un dégagement continu de force vive, dont

la végétation se sert, soit pour dissocier de nouvelles quantités d'acide carbonique atmosphérique, soit pour faciliter les décompositions chimiques qui mettent en liberté les éléments minéraux ou organiques nécessaires à la production des tissus végétaux. Envisagé à ce point de vue, l'humus enfoui dans le sol jouerait un rôle analogue à celui du sang, ou mieux des matières grasses, qui, par leur lente combustion dans l'organisme des espèces animales, fournissent la force vive nécessaire à toutes les fonctions de la vie.

Si nous admettons cette sorte de sensibilité physique du sol végétal, cette propriété d'emmagasiner la force vive, pour la restituer lentement aux végétaux suivant leurs besoins, il n'est pas nécessaire de limiter à telle ou telle action plus ou moins immédiate l'origine de cette force vive, bien qu'on puisse toujours, en principe, la faire dériver de la chaleur solaire.

Elle peut, au même titre que de la combustion de l'humus, provenir du travail mécanique et des diverses formes sous lesquelles il est appliqué à la terre.

Elle peut être due à un développement quelconque de chaleur, tel que celui qui résulte de l'incinération des végétaux dans l'écobuage. On sait en effet, par expérience, que cette opération n'agit pas seulement par les substances minérales existant dans les cendres ; qu'elle produit une action fertilisante spéciale qu'on doit forcément assigner au fait de la combustion.

Rien n'empêche même de supposer que cette concentration de force vive disponible, à l'état latent, ne puisse résulter de l'action mécanique des eaux courantes sur les limons qu'elles ont transportés. Telle paraît être, conformément à l'expérience déjà citée de M. Daubrée, la

cause des différences qui existent très-certainement entre une alluvion, surtout une alluvion récente, et un mélange de composition minéralogique analogue[1] qui n'aurait pas subi de transport prolongé dans le lit d'un cours d'eau.

Telle que nous l'indiquons sous toute réserve, cette théorie de la concentration dans le sol végétal de forces vives d'origine diverse, pourra sans doute paraître fort hypothétique. Si nous avons su l'exposer cependant, nous espérons que, dans sa généralité même, on reconnaîtra qu'elle embrasse les faits les plus positifs résultant des études récemment faites sur le phénomène de la végétation.

Peu importent en effet les combinaisons intermédiaires, les transformations qui paraissent se produire dans les actions chimiques qui accompagnent la végétation ; que l'humus, par exemple, agisse sous la forme de tel ou tel acide ; que l'incinération produite par l'écobuage ait pour effet de produire tel sel minéral, d'en décomposer tel autre : rapporté à la cause première, le résultat sera toujours le même. Il s'agit dans tous les cas d'une réserve de force vive ou de chaleur que les végétaux doivent avoir à leur disposition ; qu'elle provienne de l'action directe du soleil, de la combustion lente et naturelle de l'humus, de la combustion rapide et artificielle des végétaux d'écobuage, peut-être même des actions mécaniques exercées par les travaux de la culture ou le transport des alluvions dans les eaux courantes.

[1] La force vive accumulée dans l'alluvion se manifeste de deux manières différentes : par un développement de l'action végétale sur les sols déjà existants; par une tendance à l'agrégation physique sur l'alluvion elle-même, lorsqu'elle se dépose sur une trop grande épaisseur en un même point.

VIII.

Nous venons d'étudier les conditions physiques et minérales qui caractérisent les sols végétaux ; nous avons ensuite essayé de nous rendre compte de la nature des forces mises en jeu par le développement de la vie végétale.

Il nous reste à examiner les conditions naturelles des terres végétales existant à la surface du globe. Il est aisé de reconnaître qu'elles appartiennent presque toutes à la catégorie des terrains de transport. C'est à l'action des eaux courantes qu'elles doivent à la fois les qualités physiques et chimiques qui les distinguent, la division mécanique des molécules du sol, la variété suffisante des éléments minéraux.

Outre qu'ils peuvent, comme nous l'avons vu précédemment, contribuer à faciliter les dissociations chimiques qui rendent assimilables par les végétaux les éléments minéraux existant à l'état inerte dans le sol, les courants d'eau sont à peu près les seuls agents mécaniques qui aient pu broyer, triturer les roches, et mélanger leurs débris dans un état suffisant de désagrégation physique et de diversité minérale.

Sauf de rares exceptions, toutes les terres végétales sont donc des terrains de transport ; mais il faudrait bien se garder d'admettre que tout terrain de transport soit nécessairement apte à faire une bonne terre végétale. Bien loin de là. Les courants d'eau qui ont à diverses reprises remanié la surface du globe, ont produit plus de terrains géologiques que de terres végétales proprement dites. Non-seulement la trituration des roches n'a pas toujours été poussée à un degré convenable de ténuité ; mais les dépôts se sont le

plus souvent opérés dans des conditions inégales qui, loin d'assurer le mélange intime des éléments différents, les ont séparés les uns des autres.

L'action mécanique des eaux sur la croûte terrestre, dans le passé comme dans le présent, s'est produite de trois manières différentes : action de la mer, des anciens courants diluviens, des courants modernes.

L'action des vagues de la mer, comme nous le verrons plus tard (XXXVIII), a surtout pour résultat d'opérer un départ complet entre les éléments minéraux sur lesquels elle opère. Loin de constituer de nouvelles terres végétales, la mer ne peut que décomposer et ramener à l'état de terrains géologiques celles qui existent.

Les grands courants accidentels qui, à diverses époques de l'histoire géologique, ont bouleversé la surface du globe, ont mis à nu des masses énormes de matières minérales ; mais rarement ils en ont opéré le dépôt dans des conditions propres à produire des terres végétales. Les terrains diluviens (LI) se présentent le plus souvent sous l'aspect de vastes surfaces dénudées, composées de sables ou de cailloux quartzeux sur certains points, d'argiles compactes dénuées de calcaires sur d'autres. La majeure partie de nos terres arables ont cependant cette origine ; aussi les conditions de fertilité du plus grand nombre laissent-elles beaucoup à désirer.

Le rôle des alluvions produites par nos courants modernes est beaucoup plus restreint. Les terres végétales qu'elles ont produites sont en général de qualité très-supérieure à celles des terres d'origine diluvienne (LXXVIII); mais il s'en faut de beaucoup encore qu'elles soient partout également fertiles.

Leur infériorité dans ce cas tient habituellement plus à

leur nature physique qu'à leur composition chimique. Elles contiennent souvent les éléments minéraux nécessaires à la nutrition des plantes, mais elles manquent de la matière inerte, qui seule peut s'opposer à la tendance naturelle qu'ont ces éléments minéraux à se reconstituer en terrains géologiques par le tassement et l'agrégation moléculaire.

Les sols végétaux présentent en apparence une variété infinie de composition minéralogique. On peut cependant, en les rapportant à une origine commune, établir entre eux certains caractères généraux qui les rattachent à un très-petit nombre de types distincts.

Toutes les substances minérales qui composent non-seulement les terres végétales, mais l'ensemble des terrains sédimentaires, se réduisent à trois éléments essentiels : le calcaire, l'argile et la silice.

Le calcaire parait avoir préexisté avant les premiers terrains sédimentaires. L'observation géologique démontre sa présence dans les plus anciennes formations. Il n'agit d'une manière efficace sur la végétation que dans un état complet de désagrégation physique, sous lequel on lui donne le nom de marne.

L'argile et la silice sont les produits de la désagrégation des roches granitiques ou plutoniques, qui se trouvent le point de départ de toute action sédimentaire originelle. Ces roches en effet ne contiennent que deux éléments : les silicates alcalins ou terreux, dont la désorganisation plus ou moins complète fournit l'argile, et la silice en grains.

Les trois grandes composantes du sol végétal, le calcaire à l'état de marne, l'argile et la silice, sont à la masse des éléments minéraux ce que l'oxygène, l'hydrogène et le carbone sont aux éléments organiques des tissus végétaux. Leur proportion relative détermine la nature essentielle d'un

terrain, car chacune amène avec elle les autres substances minérales qui lui sont propres, et qui sont plus particulièrement nécessaires au développement de la vie végétale.

Le calcaire, en effet, porte ordinairement avec lui les sulfates, la magnésie et surtout les phosphates.

La potasse se retrouve dans les argiles provenant de la décomposition incomplète du feldspath granitique.

Quant à la silice en grains, elle n'a qu'une action de présence purement physique, bien que fort importante.

Il ne s'agit ici, bien entendu, que de conditions générales, car les substances accessoires que nous venons d'énumérer ne se trouvent pas toujours dans un rapport intime avec les proportions de marne et d'argile contenues dans le sol.

Les calcaires seront d'autant plus chargés de phosphates qu'ils auront été remaniés un plus grand nombre de fois; que, par l'effet d'actions sédimentaires renouvelées, ils contiendront en plus grande quantité les débris de dépouilles organiques fossiles dans lesquelles le phosphore se trouve accumulé.

Les silicates alcalins perdant leur potasse avec le temps, les argiles seront d'autant plus riches en alcali que la désagrégation du feldspath qui les a produites sera plus récente.

Ce n'est pas seulement la richesse minérale d'une terre végétale, mais sa constitution physique elle-même qui dépend du rapport des trois grandes composantes dont il est formé.

Le calcaire donne surtout au sol la légèreté, la porosité, cette faculté d'absorption des liquides et des sucs nourriciers dont nous avons signalé l'importance.

L'argile fournit le liant et la plasticité.

Le quartz, enfin, matière inerte simplement intercalée dans la masse entière, a pour effet de la diviser, de s'op-

poser à l'agrégation moléculaire des autres substances, de rompre la continuité des effets de durcissement, de dilatation ou de retrait qui résulteraient de l'influence de la chaleur sur un sol trop exclusivement argileux ou calcaire.

Le sable quartzeux agit ainsi dans la terre végétale comme dans les mortiers, et il peut être suppléé par toute autre matière apte à jouer le rôle passif d'un élément inerte, par un excès de calcaire ou d'argile incomplètement désagrégés, parfois même par certaines substances organiques et principalement par les débris charbonneux de l'humus.

On peut donc, en résumé, définir la terre végétale : *un mélange en proportion variable de calcaire marneux, d'argiles désagrégées et d'une matière inerte qui est généralement le sable quartzeux.*

Il est dès-lors d'une grande importance de déterminer rapidement les quantités respectives de calcaire, d'argile et de quartz qu'un sol peut contenir.

Cette analyse sommaire est en général suffisante pour faire apprécier avec de grandes probabilités d'exactitude la valeur agronomique du sol. Elle peut d'ailleurs s'effectuer par des procédés très-simples, sans qu'il soit besoin de recourir à de longues opérations de laboratoire.

Les proportions respectives des trois éléments minéraux qui entrent dans la composition du sol végétal peuvent varier dans de très-grandes limites, non-seulement d'après les cultures, mais suivant les climats.

Les terrains très-sablonneux, ne pouvant emmagasiner qu'une faible quantité d'eau à l'état de combinaison physique, sont d'une affreuse stérilité sous le climat brûlant de l'Afrique, et au contraire d'une admirable fécondité dans les contrées du nord de l'Europe, telles que la Belgique et l'Irlande, rafraichies par des pluies fréquentes.

L'humus n'est pas par lui-même un élément indispensable de la terre végétale, on trouve des terres excellentes qui n'en contiennent pas ; mais il joue un grand rôle dans le développement des actions chimiques (VII), et il peut, par son accumulation, modifier considérablement les conditions physiques du sol (V), et contribuer dès-lors à son amélioration. Nous avons déjà vu qu'il peut suppléer le sable comme matière inerte et divisante ; il agit en outre comme matière poreuse et colorante, pour faciliter l'absorption et l'emmagasinement de l'eau et de la chaleur. Il constitue, en un mot, le grand correctif du sol, pouvant, tour à tour et dans une certaine limite, remplacer une partie des éléments minéraux qui lui manquent.

Au point de vue du transport par les eaux courantes, les trois éléments minéraux du sol végétal se groupent en deux classes constituant l'*alluvion limoneuse* et l'*alluvion sablonneuse*. La première comprend le calcaire marneux et l'argile maintenus en suspension dans les couches supérieures du courant. Elle forme le principe essentiellement actif et fécondant du sol végétal, l'amendement par excellence.

L'alluvion sablonneuse n'est formée que par les matières incomplètement désagrégées qui, à raison du volume appréciable de leurs molécules et de leur plus grande densité, se concentrent dans les couches inférieures du courant, ou glissent et roulent sur le plafond de son lit.

Nous reviendrons plus tard (XXIII) sur ces caractères essentiels des sols végétaux, dont il nous suffit pour le moment d'avoir signalé l'importance.

Nous reprenons l'ordre général de nos études, qui, comme nous l'avons dit, doivent porter : en premier lieu, sur le rôle que les courants d'eau ont joué dans la préparation du sol végétal ; en second lieu, sur le parti qu'on peut

tirer des eaux courantes et des limons qu'elles charrient pour amender et améliorer les terres végétales existantes; en troisième lieu, enfin, sur la possibilité de reproduire et de généraliser l'action bienfaisante des torrents, en fabriquant de toutes pièces des alluvions artificielles ayant sur les alluvions naturelles, comme quantité, comme action fertilisante et comme facilité de distribution, toute la supériorité que le travail raisonné de l'homme peut avoir sur le travail aveugle de la nature livrée à elle-même.

CHAPITRE II

HYDROLOGIE GÉNÉRALE ET MÉTÉOROLOGIE.

IX.

Les eaux ont puissamment contribué à donner à notre globe sa forme extérieure et son relief actuel. — Leurs effets à cet égard se continuent journellement sous nos yeux. Les sommets des montagnes, les flancs des collines sont continuellement minés et corrodés par les torrents. Des matières minérales de toute formation, de toute nature, sont entraînées et broyées par les crues. Leurs débris s'arrêtent en partie à l'état d'alluvions sur les rives des fleuves ou s'accumulent à leur embouchure ; le reste se rend à la mer en même temps que les substances solubles. D'innombrables myriades d'animaux, de polypiers et de végétaux s'assimilent ces dernières, et donnent lieu à une abondante production de dépouilles fixes et de coquilles dont les résidus, mélangés aux matières minérales directement charriées à l'état solide, servent à constituer les nouvelles couches géologiques et les roches qui s'entassent au fond de l'Océan.

C'est ainsi que nous voyons les terrains se détruire et se reformer incessamment sous l'action de causes naturelles, jusqu'à un certain point analogues à celles qui ont agi aux époques géologiques antérieures.

Mais, quelque influence que puissent avoir eu sur notre globe les cours d'eau qui le sillonnent aujourd'hui, leur

action, si prolongée qu'on la suppose, ne saurait suffire à rendre compte de tous les phénomènes dans lesquels l'eau a joué le principal rôle. On est donc conduit à admettre des courants d'une énergie bien supérieure, pour expliquer ces vastes dénudations qui ont emporté des portions de montagne et semé leurs débris sur les immenses étendues où nous les retrouvons aujourd'hui. L'étude de la géologie nous montre à chaque pas la trace de ces courants accidentels qui, à diverses époques, avant comme après les dernières dislocations du globe, en ont momentanément parcouru et remanié la surface.

Les terres végétales sont la production de ces divers courants permanents ou accidentels. Suivant leur origine, elles rentrent dans la catégorie des alluvions modernes ou dans celle des terrains diluviens antérieurs.

Les courants diluviens ne nous sont connus, ni dans leurs causes, ni dans leur mode d'action ; nous ne pouvons les juger que par leurs effets généraux. Nos études sur les formations qu'ils ont produites resteraient donc fort incomplètes, si nous ne pouvions, par analogie, comparer ces formations aux alluvions modernes, dont la création se poursuit sous nos yeux.

Nous étudierons donc d'une manière toute spéciale les courants actuels. Nos recherches porteront en premier lieu sur leur origine et sur leur régime, sur les conditions dans lesquelles les pluies renouvellent les sources, et les affluents torrentiels qui les alimentent.

Une fois fixé sur la nature et l'intensité des forces mécaniques mises en jeu, nous pourrons en analyser les effets, indiquer les moyens de diriger l'action de ces forces, de la modifier, de la combattre au besoin.

Cette première étude des sols d'alluvion aura une grande

importance, en nous donnant des méthodes rationnelles pour améliorer la valeur agricole de ces terrains. Elle aura des résultats bien plus considérables encore, en nous mettant sur la voie des procédés pratiques qui permettront d'amender et de fertiliser les terres d'origine diluvienne, dont l'étendue sur notre globe est bien supérieure à celle des alluvions récentes.

X.

Les courants servant à l'écoulement des eaux du globe sont alimentés par les pluies dans des conditions météorologiques très-différentes suivant les saisons et les climats. Diverses circonstances, les unes générales, les autres locales, influent sur la distribution des eaux pluviales en chaque lieu. Ce phénomène est intimement lié à la direction dominante des vents, régie elle-même par de grandes lois physiques dépendant du mouvement de notre planète sur son axe et de sa rotation autour du soleil, lois générales qu'il est nécessaire de rappeler, avant d'étudier avec détails les circonstances particulières qui peuvent les modifier.

Le globe terrestre, au point de vue de la température, doit être considéré comme se trouvant dans un état normal d'équilibre. Il reçoit annuellement du soleil, sous forme de chaleur, une certaine quantité de force vive qu'il restitue intégralement à l'espace par rayonnement. La chaleur solaire, source première de toutes les actions mécaniques et physiologiques qui se passent sous nos yeux, s'exerce également dans le courant de l'année sur l'ensemble de chaque méridien, mais très-inégalement sur ses diverses parties. Le flux calorifique agit principalement dans la zone équatoriale, que les rayons solaires frappent normalement; mais un double courant, gazeux dans l'at-

mosphère, liquide à la surface des mers, tend incessamment, sinon à équilibrer, du moins à balancer en partie les écarts de température existant entre la zone de l'équateur et celles qui avoisinent les pôles. Les effets mécaniques de la chaleur solaire se traduisent en chaque point sous trois formes différentes : échauffement des substances solides ou liquides, dilatation des masses gazeuses de l'atmosphère, vaporisation de l'eau.

Pour isoler l'étude des grandes lois physiques qui résultent de l'action en apparence si complexe de la chaleur solaire, faisons pour un moment abstraction de l'inégale répartition des mers et des continents: supposons que le globe soit uniformément couvert d'un seul et même océan; admettons en outre que le soleil reste toujours dans le plan de l'équateur terrestre.

Les masses gazeuses de l'atmosphère, constamment échauffées par l'excès de chaleur reçue au voisinage de l'équateur, se dilateront, et, devenues plus légères, s'élèveront verticalement, pressées et comprimées à mesure par l'air plus dense des zones voisines.

Il s'établira ainsi dans chaque hémisphère un courant giratoire principal, qui, considéré sur un même méridien, ira du pôle à l'équateur dans sa branche inférieure, de l'équateur au pôle dans sa branche supérieure.

Ces deux directions seront modifiées par le mouvement de rotation de la terre. Les molécules gazeuses du courant inférieur, en retard sur la vitesse propre des parallèles successivement atteints, exerceront une action opposée au sens du mouvement de rotation; elles détermineront dans la direction générale une composante latérale orientée de l'est à l'ouest. Dans la branche supérieure, au contraire, l'air entraîné se trouvant en avance sur le mouvement des

parallèles traversés, il en résultera une composante latérale déviant le vent dans le sens de l'ouest à l'est.

La chaleur solaire qui frappe à la surface de la mer ne se traduit pas uniquement par une dilatation gazeuse, elle détermine en outre une production de vapeur d'eau et un échauffement de la surface liquide.

L'évaporation liquide, en augmentant le volume des matières gazeuses, n'a d'autre effet immédiat que d'accélérer le mouvement giratoire de l'atmosphère. L'échauffement superficiel a une autre action, il rend les eaux de la mer plus légères sous l'équateur que sous les pôles, et détermine, en vertu de l'inégalité de pression, un mouvement giratoire de la masse liquide qui ramène au fond des mers équatoriales l'eau froide des pôles et refoule superficiellement vers les pôles l'eau chaude des mers équatoriales.

Tels sont les effets généraux qui se produisent ou plutôt se produiraient à la surface de la terre, et reporteraient une partie de l'excédant dela chaleur équatoriale vers les zones froides ou tempérées, dans l'hypothèse admise d'un seul océan recouvrant toute la superficie du globe. Dans l'atmosphère, on aurait : des courants inférieurs soufflant des pôles, mais inclinés vers l'est, au voisinage de l'équateur; des courants supérieurs qui, après s'être maintenus dans les hautes régions, se rabattraient sur les zones moyennes ou extrêmes de chaque hémisphère, sous formes de vents soufflant de l'équateur, avec inclinaison vers l'ouest.

Dans la masse de l'océan, on observerait un courant de surface qui porterait sur les zones extérieures l'eau chaude de l'équateur, et un courant de fond qui ramènerait dans les mers de l'équateur les eaux froides des pôles, à une température avoisinant leur maximum de densité, soit environ + 4°.

L'observation indique un ordre de faits qui se rapproche dans son ensemble de cet état théorique, mais en diffère cependant, par suite de l'inégale répartition des continents, dont nous avons fait abstraction jusqu'ici.

L'action solaire, toujours égale dans son effet mécanique total, en tous les points d'un même parallèle, s'exerce d'une manière différente sur une surface continentale ou maritime. L'échauffement des surfaces solides n'est que momentané et compensé par le rayonnement qui se produit sur place; il ne détermine dans les contrées équatoriales aucun déplacement de chaleur. Le courant giratoire de l'atmosphère produit par la dilatation gazeuse doit donc gagner sur un continent tout ce qu'emporte le courant liquide sur une surface maritime à même latitude.

En tenant compte de ce double fait, évident, bien qu'il n'ait peut-être pas été suffisamment remarqué jusqu'ici, d'une égalité d'action totale de la chaleur solaire, mais d'une inégale répartition de ses effets sur tout le pourtour d'un même parallèle, on peut expliquer les principaux phénomènes de la distribution des grands vents à la surface du globe.

Sur les deux grands océans, l'Atlantique et le Pacifique, qui s'étendent sans interruption d'un pôle à l'autre, le courant giratoire de l'atmosphère agit d'une manière régulière. Il détermine les vents alizés continus, qui soufflent de l'est à l'ouest sur toute la zone équatoriale, sauf une région de calme intermédiaire correspondant à l'ascension verticale du courant, au voisinage même de l'équateur.

La branche supérieure du courant, ou l'alizé de retour, se maintient à l'origine dans les hautes régions de l'atmosphère. Divers phénomènes physiques, tels que le transport des cendres des volcans à de grandes distances, dans une

direction opposée à celle de l'alizé inférieur, en ont constaté la présence sur l'Atlantique, entre les parallèles des tropiques. En atteignant la région des zones tempérées, ce courant se rapproche de la surface. Sans agir avec une aussi grande régularité que l'alizé inférieur, il détermine des vents qui, venant de l'équateur avec une inclinaison vers l'est, réchauffent les côtes occidentales de deux grands continents.

Sur les côtes de l'Europe, l'action dominante des vents de S.-O. est bien constatée; ce qui ne l'est pas moins, c'est la production des grands vents de N.-E. correspondant à l'action accélératrice que l'Afrique équatoriale détermine dans le mouvement giratoire du grand courant atmosphérique. L'air des pôles, incessamment rappelé par cette fournaise centrale, se précipite vers elle sous la forme de vents glacés qui, descendus des plaines de la Sibérie, traversent la Turquie et refroidissent les côtes orientales de la Grèce.

L'action normale des vents alizés est notablement modifiée dans l'océan Indien qui, librement ouvert vers l'hémisphère austral, est au contraire entouré de surfaces continentales dans l'hémisphère boréal.

Les terres riveraines de ce vaste golfe, tour à tour échauffées par l'action solaire et refroidies par le rayonnement, exercent une influence dont l'amplitude totale est liée au renouvellement des saisons. L'alizé est remplacé dans la zone des tropiques par des vents contraires, les moussons soufflant pendant six mois de l'est et six mois de l'ouest.

Le phénomène de la pluie, dont nous avons plus particulièrement à nous occuper dans cette étude, est intimement lié à celui de la production des vents. L'air dilaté qui

s'élève incessamment des mers équatoriales, entraîne avec lui une grande quantité de vapeur d'eau. Une partie se résout immédiatement en pluie, par suite du moindre degré de saturation que peuvent conserver les couches d'air supérieures. Le reste est entraîné par l'alizé de retour, et se condense dans les zones froides ou tempérées. Dans l'intervalle, il existe généralement une zone plus ou moins étendue, dans laquelle les pluies sont rares ou nulles. Telle est, dans l'ancien continent, la bande de déserts qui s'étend uniformément dans le nord de l'Afrique entre le 16° et le 30°, et se prolonge dans le centre de l'Asie en remontant un peu vers le nord.

Le retour alternatif des saisons déplaçant le parallèle sur lequel s'exerce normalement l'action solaire dans la zone équatoriale, détermine une fluctuation analogue dans les quantités de vapeur d'eau amenées sur les zones tempérées ; d'où résultent naturellement deux maxima de précipitation qui correspondent à peu près aux équinoxes. Au printemps, ce sont les vapeurs apportées en excès par les vents équatoriaux qui se précipitent au contact de l'air froid des zones tempérées; en automne, ce sont les vapeurs accumulées pendant l'été qui se résolvent en pluie par l'effet du refroidissement.

XI.

Les régions de la zone tempérée soumises à l'influence amoindrie des courants gazeux, venant alternativement du pôle et de l'équateur, doivent à cette circonstance une variété de climat et une diversité d'état atmosphérique que l'on ne retrouve pas dans les contrées plus voisines de l'équateur, tour à tour soumises à un grand excès de sécheresse ou d'humidité.

Les causes générales des phénomènes principaux dont nous venons d'esquisser les phases périodiques, sont d'ailleurs modifiées par une foule de circonstances locales, d'actions et de réactions secondaires, dont il sera sans doute longtemps encore difficile d'apprécier l'importance relative.

L'action souvent prédominante de ces causes locales détermine en chaque lieu un climat parfois très-différent, d'un point à l'autre d'un même parallèle, mais qui, en dépit de grandes variations journalières, en apparence indéterminées, reste sensiblement constant dans son état moyen. Cet état climatérique moyen en chaque lieu, est assez nettement caractérisé par deux coefficients numériques, dont les valeurs moyennes peuvent plus ou moins exactement se déduire de l'expérience ; ce sont : la quantité d'eau tombée annuellement à l'état de pluie ou de neige, et la quantité d'eau évaporée dans le même temps sur une nappe liquide au libre contact de l'air.

Des observations directes permettent de mesurer avec une assez grande exactitude la hauteur annuelle des eaux pluviales, et d'en apprécier toutes les variations en un même point. Il n'en est malheureusement pas de même pour la hauteur d'eau évaporée ; cette quantité est très-variable avec l'étendue des bassins dans lesquels se font les expériences. Elle est naturellement, toutes choses égales d'ailleurs, beaucoup plus considérable dans un bassin de petites dimensions, de moindre profondeur surtout, dans lequel l'eau s'échauffe plus facilement en été, que dans un plus grand réservoir. Des expériences faites au canal de Bourgogne et citées par M. l'ingénieur Ruinet, ont donné pour deux bassins d'inégale surface, des résultats différant de plus de 30 p. °/₀.

Nous-même avons eu occasion de constater qu'il suffisait de relever de $0^m,30$ les margelles d'un petit bassin d'expérience au-dessus de la surface des eaux, pour diminuer de près de 40 p. % le chiffre de l'évaporation.

On comprend combien peu doivent être comparables des résultats numériques obtenus dans des conditions d'expérience en général dissemblables.

Si l'évaporation naturelle varie suivant la grandeur des bassins sur lesquels on l'observe, à plus forte raison doit-on se garder de comparer pour une même latitude et pour des températures égales, l'évaporation observée sur une nappe d'eau très-limitée, à la surface des continents, avec celle qui se produit à la surface des grandes mers voisines.

A part la profondeur de la mer, qui ne permet jamais aux couches superficielles d'acquérir la température de l'air ambiant pendant les journées chaudes de l'été, on ne doit pas perdre de vue que l'évaporation ne tient pas seulement au volume de la masse d'eau observée, à l'étendue de sa surface et à sa température ; elle dépend tout autant de la masse, de la vitesse et de l'état hygrométrique de l'air ambiant en contact avec elle.

Si la quantité d'eau qui s'évapore est relativement peu considérable, à la superficie des continents ou des petites mers intérieures, la quantité d'air en mouvement qui absorbe cette eau y est au contraire tout aussi grande qu'à la surface des océans, et beaucoup plus éloignée du point de saturation. Cette double influence peut compenser en grande partie le peu d'étendue des nappes d'eau intérieures sur lesquelles l'évaporation opère avec toute sa force.

La terre agit d'ailleurs elle-même comme surface évaporante. Les sols meubles et spongieux absorbent momen-

tanément une partie des eaux pluviales qu'ils restituent directement à l'atmosphère. L'évaporation à la surface des continents est donc très-notable. On aurait tort de penser, avec quelques auteurs qui se sont occupés de la question, qu'elle peut être négligée, comme sans importance. Nous verrons tout à l'heure (XIV) qu'elle atteint et dépasse, même en moyenne, la moitié de l'eau pluviale tombée annuellement.

Si, pour une même latitude et à superficie égale, l'évaporation est certainement beaucoup plus grande à la surface des masses liquides qui sont enchâssées dans les continents que sur l'océan, il serait, dans l'état de nos connaissances, bien difficile de rien préciser de positif quant aux proportions relatives de pluie tombée dans les mêmes circonstances locales.

La température étant en général beaucoup plus égale, sujette à de moins brusques variations sur la mer que sur la terre, les condensations de vapeur doivent y être par cela même beaucoup moins intenses. Par contre, l'état de saturation complète dans lequel se trouvent ces mêmes couches d'air doit en faciliter la précipitation.

Ces deux causes, dont les effets se contrarient : la température égale de la mer d'un côté, l'humidité constante des couches atmosphériques qui sont en contact avec elle de l'autre, tendent, l'une à diminuer, l'autre à augmenter la quantité d'eau pluviale tombée à la surface de l'océan; sans qu'il soit cependant possible de préciser si cette quantité moyenne est en somme plus grande ou plus petite que celle qui tombe à la surface des continents.

Tant qu'il n'aura pas été fait d'observations positives à cet égard, et nous ne nous dissimulons pas combien seraient difficiles en haute mer ces expériences, qui devraient être

répétées pendant de longues périodes, nous ne saurions rien conclure de formel sur cette question. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est qu'en général, en mer et sur les côtes où les vents de la haute mer sont habituellement régnants, comme sur les rivages de l'Océan en France, les pluies doivent être beaucoup plus fréquentes, mais moins intenses que dans les contrées méditerranéennes de même latitude.

Nous trouverons un exemple de cette action régulatrice de l'Océan dans les villes de Nantes et de Bordeaux, dont le climat passe, à bon droit, pour être très-humide et très-pluvieux, et qui cependant, d'après le résultat des observations hydrométriques, sont les localités de France où la quantité d'eau pluviale est relativement la moins considérable pour l'année entière.

S'il n'est nullement prouvé, s'il est tout au moins fort douteux que l'eau tombée sur les continents soit en moyenne inférieure à l'évaporation correspondante sur la mer pour un même parallèle, l'évaporation des petites masses est bien supérieure à la quantité d'eaux pluviales tombées au même lieu. Et par petites masses nous n'entendons pas seulement parler des bassins ou réservoirs sur lesquels peuvent se faire des observations positives, ni même des fleuves ou des petits lacs de l'intérieur des continents, mais des mers isolées, de petite ou moyenne étendue, telle que la Méditerranée tout entière. L'existence parfaitement démontrée d'un courant permanent entre l'Océan et cette mer intérieure établit, en effet, d'une manière incontestable que l'évaporation y est supérieure à la quantité d'eau pluviale produite sur un bassin égal à plus de deux fois sa propre superficie.

Des résultats analogues, mais bien plus frappants

encore, se reproduisent : sur la mer Caspienne, dont la surface ne représente pas le septième du bassin à l'évaporation duquel elle suffit; sur la mer Morte, ainsi que sur tous les petits lacs salés du nord de l'Afrique, mers intérieures qui pour la plupart se trouvent à un niveau inférieur à celui de l'Océan.

A juger, par ces exemples, de l'énorme puissance d'évaporation que paraissent avoir dans la zone tempérée[1] les petites mers intérieures, incessamment balayées par des courants d'air sec venant des continents, on est assez naturellement porté à croire que, par contre, l'évaporation non-seulement doit être relativement beaucoup moindre au centre des grands océans, mais qu'elle peut même y être parfois[2] notablement inférieure à la quantité d'eau pluviale tombée sur place.

[1] Par exception cependant à cette règle générale, concernant les petites masses d'eau comprises dans les contrées de notre zone tempérée, on pourrait citer dans le nord de l'Europe et dans le centre même de la France, diverses localités où l'évaporation est bien réellement moindre que la colonne d'eau zénitale.

Cette dernière circonstance suffit pour produire une différence de climat, sur laquelle nous aurons à revenir. C'est, en effet, à l'humidité constante de l'atmosphère que les rivages de la Hollande et de toute la mer du Nord doivent de ne pas être exposés à ces efflorescences salines qui compliquent d'une si grande difficulté la question des desséchements sur le littoral sec et brûlant de la Méditerranée.

[2] Comme résultat moyen, on peut établir une équation d'équilibre entre l'eau pluviale et l'évaporation à la surface du globe.

Appelons :

S la surface totale des grands Océans.

P la hauteur moyenne d'eau pluviale qu'ils reçoivent.

e l'évaporation à leur surface.

S' la surface totale des continents, y compris les petites nappes d'eau intérieures.

P' l'eau pluviale à la surface des continents.

XII.

Si le coefficient d'évaporation est une quantité essentiellement variable et très-difficile à déterminer sur toute l'étendue d'un même parallèle, la quantité moyenne d'eau pluviale, tout au moins aussi variable dans son produit annuel, peut en revanche être exactement appréciée, du moins sur la terre ferme, et c'est ainsi qu'on a pu constater pour un grand nombre de points des résultats numériques qui présentent de très-fortes anomalies à de courts intervalles, mais dont les résultats moyens, répartis sur un assez grand nombre d'années, peuvent être comparés d'une localité à l'autre.

Ils établissent pour chacune d'elles un *coefficient hydrométrique* qui a son importance en météorologie, bien qu'il soit loin de représenter à lui seul le régime réel

α la proportion relative d'eau pluviale directement évaporée par la surface S'.

Nous aurons :

$$PS + P'S' = eS + \alpha P'S'$$

$$\text{d'où } e = \frac{PS + P'S'(1-\alpha)}{S}$$

et en posant $S = 3S'$, résultat sensiblement exact :

$$e = \frac{3P + P'(1-\alpha)}{3} = P + \frac{P'(1-\alpha)}{3}$$

Nous ne connaissons, en fait, aucune relation entre les quantités P et P'; ce n'est que fort arbitrairement qu'on peut les supposer égales. Si, dans cette hypothèse, on néglige le coefficient α, on retombe sur la relation $e = \frac{4}{3}P$ donnée par quelques auteurs. Si l'on admet, au contraire, ce qui nous paraît plus près de la vérité, $\alpha = \frac{1}{2}$, la valeur de e se réduira à $e = \frac{7}{6}P$.

des pluies dépendant plus encore de leur durée relative et de leur répartition entre les diverses saisons de l'année, que de leur produit total. Le coefficient hydrométrique est sujet à de très-grandes variations dépendant, les unes de circonstances locales, les autres des grandes lois physiques précédemment exposées.

Il n'entre pas dans notre cadre de multiplier ici les citations de chiffres; nous nous bornerons donc à rappeler d'après M. Ch. Martins, professeur à la Faculté de médecine de Montpellier, les quantités moyennes d'eaux pluviales qui tomberaient annuellement dans les cinq grandes régions qu'il a cru pouvoir établir comme représentant les principaux climats de la France :

Climat du nord-est ou vosgien, eau pluviale.	0m,68
— du nord-ouest ou séquanien........	0m,55
— du sud-ouest ou girondin.........	0m,59
— du sud-est ou rodanien...........	0m,95
— du sud ou méditerranéen..........	0m,65
Moyenne des cinq chiffres...	0m,68

Pour avoir une moyenne applicable à toute la France, il faudrait tenir compte de la surface respective de ces diverses régions, ce qui pourrait donner un résultat différant notablement du chiffre 0m,68, qui est la moyenne arithmétique des cinq chiffres produits par M. Martins. Mais ces chiffres eux-mêmes, résultant d'observations faites sur un nombre limité de localités arbitrairement choisies dans chaque région, doivent être considérés tout au plus comme des approximations d'une exactitude fort incertaine.

La quantité moyenne d'eau pluviale sur notre territoire accidenté varie, entre deux points voisins, dans des proportions souvent très-considérables, sans qu'il soit toujours

possible de donner une explication satisfaisante de cette différence.

Les relevés de Cette sont constamment inférieurs à ceux de Montpellier. Pour une période de sept ans (1858 1864), nous trouvons une moyenne de $0^m,62$ dans la première ville, contre $0^m,98$ dans la seconde; et cependantelles ne sont qu'à 28 kilomètres l'une de l'autre, dans des conditions de topographie et d'altitude peu différentes en apparence.

Un hydromètre a été établi récemment au marais de Vic, en un point intermédiaire entre ces deux villes; on pouvait s'attendre à ce qu'il donnerait un résultat moyen. Depuis vingt-sept mois que les observations se continuent, elles ont toujours fourni un chiffre notablement inférieur à celui des deux autres stations.

Du 1er octobre 1864 au 31 juillet 1866 nous avons trouvé :

A Montpellier...........	$1^m,508$
A Vic...................	$1^m,064$
A Cette.................	$1^m,211$

L'altitude est considérée comme ayant une grande influence sur la valeur des coefficients hydrométriques. Une faible variation de hauteur en un même lieu paraîtrait diminuer notablement la quantité d'eau pluviale, si l'on admettait les résultats comparatifs obtenus aux observatoires de Paris, d'York et de plusieurs autres villes. Après avoir longtemps considéré ce fait comme l'expression d'une loi générale dont les causes étaient peu connues, on est assez porté aujourd'hui à n'y voir que le résultat d'une erreur d'expérience.

Un hydromètre ne peut donner de résultats exacts qu'à la condition d'avoir sa cuvette placée en un lieu découvert,

près du sol, loin de toute masse saillante, de tout édifice pouvant produire dans l'air des remous et des tourbillons.

Ces conditions n'étaient pas remplies dans les lieux où ont été faites les observations que nous venons de rappeler.

De nombreuses expériences paraissent au contraire avoir établi qu'une différence d'altitude considérable résultant d'une élévation naturelle du sol, se traduit par une augmentation notable de la tranche d'eau pluviale.

M. Vallés, en suivant des lignes de profil s'étendant depuis la mer jusqu'aux régions élevées de notre territoire, a constaté une progression croissante dans toutes les directions.

Dans une étude récente, accompagnée d'un très-grand nombre de faits d'observation sur l'hydrométrie du bassin de Paris, M. Belgrand admet aussi l'existence de cette loi générale. Il signale cependant des anomalies remarquables. Dans deux localités très-rapprochées, les Settons et Château-Chinon, l'une et l'autre dans la région du Morvan, à des altitudes sensiblement égales (596^{m} et 550^{m}), la proportion d'eau pluviale varie dans le rapport de près de 4 à 1 (1370^{mm} aux Settons, 422^{mm} à Château-Chinon).

Un élément autre que l'altitude doit nécessairement intervenir dans ce résultat. L'explication la plus satisfaisante qui nous paraisse en avoir été donnée est celle de MM. Fournié et Renon, qui assimilent les gouttes de pluie en suspension dans l'atmosphère aux matières lourdes en suspension dans les eaux courantes. Les circonstances qui ralentissent ou accélèrent la vitesse du courant augmentent ordinairement la quantité du dépôt.

Ce n'est autre chose que le renversement du dicton populaire : petite pluie abat grand vent; que le vent qui pousse une masse d'air chargée de pluie vienne à cesser,

et les gouttelettes en suspension seront immédiatement précipitées.

La pluie doit augmenter si le courant qui l'apporte rencontre sur son passage une dépression telle que le creux ou l'élargissement d'une vallée qui amortit la vitesse du vent. Elle doit diminuer au contraire, au passage d'un étroit défilé ou à la traversée d'un plateau qui augmente ou maintient cette vitesse.

On comprend dès-lors comment, à altitude égale, la pluie peut être beaucoup plus forte aux Settons, dans le fond de la vallée de la Cure, qu'à Château-Chinon, situé sur un plateau découvert.

Les observations faites dans le département de la Lozère confirment les faits signalés par M. Belgrand. On nous communique les chiffres suivants, s'appliquant à une période de dix mois, du 1er janvier au 31 octobre 1864.

Villefort, altitude......	380m	Eau pluviale.		1741mm
St-Germain-de-Calberte.	450	—	—	1398
Montmirat...........	1030	—	—	455
Marvéjols............	640	—	—	432
Mende..............	720	—	—	466

Les deux premières localités sont situées dans des vallons étroits, voisins de la ligne du faîte des deux mers, que doivent franchir les vents de S.-E. chargés de pluie. Montmirat est sur les plateaux élevés; Marvéjols et Mende se trouvent dans des vallons, comme Villefort et Saint-Germain, mais à une distance plus grande de la ligne de faîte.

Les mêmes faits peuvent être constatés d'une manière générale dans toutes nos régions du midi. La quantité d'eau pluviale est beaucoup plus faible sur les plateaux des causses calcaires qui dominent le littoral de la Méditerranée,

à des altitudes de 8 à 900 mètres, que dans les basses vallées et sur le versant des contre-forts de cette haute région.

Pareil résultat doit également se produire sur les hauts plateaux qui forment le sol de l'Espagne, le centre de l'Asie et tant d'autres régions qui ont une réputation de sécheresse, à bon droit établie, en dépit de leur altitude réelle.

Il y aurait très-certainement une distinction à faire entre la hauteur relative qui détermine l'intensité de la pluie et la hauteur absolue qui en atténue plus qu'elle n'en augmente le produit.

Sous cette réserve, on ne saurait contester cependant que sur les flancs et dans les vallées des montagnes qui surgissent brusquement au-dessus des plaines, la quantité d'eau pluviale n'aillé en augmentant très-rapidement. A Bigorre et à Sarrancolin, au pied des Pyrénées, elle est à peu près deux fois plus forte qu'à Agen, au centre de la vallée de la Garonne. Elle doit être bien plus grande encore dans les hautes vallées de la montagne qui pénètrent dans la région des nuages. Nous manquons d'expériences précises à cet égard, mais le fait n'en est pas moins positif. Les observations continuées à Sarrancolin, sur le débit de la Neste, pendant une période de neuf ans (1855 à 1863), accusent un cube moyen de $35^{m},50$ par seconde. Comparé à la superficie d'un bassin qui ne dépasse pas 57 000 hectares, ce débit représente l'écoulement annuel d'une tranche de près de 2 mètres de hauteur à laquelle il faudrait ajouter, pour avoir l'eau pluviale, celle qui est absorbée par l'évaporation ou les infiltrations artésiennes dans les couches inférieures du sol. La tranche d'eau pluviale à Sarrancolin ne dépassant pas $1^{m},40$, il faut

admettre des hauteurs de 3 à 4 mètres dans les régions les plus élevées des Pyrénées.

Un résultat analogue a été observé par M. Lombardini sur l'Adda, au débouché des Alpes. Le débit moyen d'écoulement correspond à une tranche de $1^m,30$.

Ces faits sont trop concordants pour qu'on puisse mettre en doute l'élévation considérable du coefficient hydrométrique sur les flancs des hautes montagnes.

L'altitude relative agit surtout parce qu'elle constitue un obstacle à l'écoulement, et détermine par suite la précipitation d'une plus grande quantité de gouttelettes de pluie.

Les chiffres indiqués comme des moyennes dans les ouvrages de statistique, sont en général déduits d'observations faites dans des villes, loin des points culminants naturels, inaccessibles ou inhabités. Ils doivent dès-lors nous donner des résultats numériques trop faibles, dans lesquels on ne tient nul compte des masses d'eau, incomparablement supérieures, qui tombent sur les versants des régions élevées, auxquelles sont plus particulièrement dues les inondations.

XIII.

S'il règne une pareille incertitude sur la détermination des moyennes hydrométriques, dans un pays comme la France, où les observations météorologiques sont relativement si multipliées, à plus forte raison ne saurions-nous espérer des données positives sur ce qui se passe dans d'autres régions du globe. Notre intention n'est pas d'ailleurs de résumer ici des renseignements statistiques plus ou moins incomplets, mais bien de mettre en garde contre la confiance trop absolue qu'on pourrait leur prêter, dans des études analogues à celles dont nous aurons à exposer les résultats.

A défaut de moyennes rigoureusement exactes, concernant la quantité d'eau pluviale tombée annuellement sur les diverses régions entre lesquelles la France peut être plus ou moins arbitrairement divisée, les observations partielles faites en divers points déterminés n'en sont pas moins susceptibles de donner lieu à quelques rapprochements intéressants.

La valeur absolue du coefficient hydrométrique est loin cependant de représenter le régime pluvial d'une contrée. Nous avons cité déjà les villes de Nantes et de Bordeaux, dans lesquelles la quantité d'eau pluviale, $0^m,68$ pour la première, $0^m,59$ pour la seconde, sans être un minimum par rapport à la région totale, est pourtant assez faible. Dans ces deux localités, les pluies sont en général régulières, fréquentes, et de peu de durée. Il en est tout autrement dans les contrées où la pluie totale est supérieure à la moyenne : la répartition s'en fait inégalement par grandes averses, donnant souvent en un mois, parfois en quelques heures, un produit égal à celui d'une année moyenne.

Il n'est pour ainsi dire pas de limites qu'on puisse assigner à l'intensité de ces pluies torrentielles sur les versants de la Méditerranée.

Dans son mémoire sur les inondations de l'Ardèche (*Annales des Ponts-et-Chaussées,* 1861), M. de Mardigny cite une tranche d'eau pluviale de $0^m,79$, tombée en vingt et une heures au mois d'octobre 1827; une hauteur de $0^m,30$, du 9 au 10 septembre 1857; des hauteurs de $0^m,43$, $0^m,45$, $0^m,51$, observées en divers points du département de l'Ardèche, dans la durée de l'inondation du 14 au 15 octobre 1859.

Sur un autre point du littoral de la Méditerranée, dans le département de l'Hérault, nous pourrions citer des résul-

tats tout aussi considérables. Une trombe qui s'est abattue, il y a quelques années, sur le territoire des communes de Villeveyrac et de Saint-Pargoire, a produit, en une ou deux heures au plus, un volume d'eau qui, si nous devons nous en rapporter à des renseignements assez précis, paraît avoir varié de 0m,50 à 0m,60.

Des averses de 0m,20 à 0m,30 sont fréquentes à Montpellier; celle du 11 octobre 1863 a atteint 0m,245, celle du 15 décembre 1864 a produit 0m,19 en quelques heures.

Une inondation anormale de l'Hérault a été produite le 29 octobre 1860, par une pluie torrentielle qui a duré plusieurs heures, et n'a pas dû fournir moins de 0m,10 par heure, pendant un temps assez long.

Le 1er octobre 1865, enfin, des observations soigneusement faites par M. Mestre, à Villeneuvette (Hérault), ont accusé une tranche d'eau pluviale de 0m,578 en vingt-six heures, dont 0m,185 tombés en deux heures. Ce résultat est d'autant plus extraordinaire, bien qu'on ne puisse le révoquer en doute, que la hauteur des crues produites par l'inondation du 1er octobre 1865, sur les cours d'eau avoisinant Villeneuvette, a été notablement inférieure à celle que ces mêmes affluents avaient atteinte pendant l'averse du 29 octobre 1860, pour laquelle il n'a malheureusement été fait aucune observation hydrométrique précise.

Il y a donc tout lieu de croire que le chiffre de 0m,578, pour la hauteur de la tranche d'eau pluviale, peut être dépassé, et l'a été à Villeneuvette et à Clermont-l'Hérault, en 1860.

Un des caractères de ce genre de phénomènes est d'être essentiellement local, et de n'avoir jamais une grande durée. Le champ de l'averse du 29 octobre 1860, qui dans l'Hérault a embrassé environ 30,000 hectares, paraît être un

maximum rarement atteint dans ce département, bien qu'il soit dépassé dans le département de l'Ardèche, plus particulièrement exposé à de pareils cataclysmes.

XIV.

L'eau tombée à la surface du sol, à l'état de pluie ou de neige, est enlevée par l'absorption végétale et l'évaporation, ou conduite à la mer par des écoulements superficiels ou souterrains.

La quantité d'eau absorbée par la végétation est en général si intimement liée à celle qui se perd par le fait de l'évaporation, qu'il serait très-difficile de les distinguer l'une de l'autre. A part l'eau qu'ils s'assimilent définitivement, et qui constitue la majeure partie de leur poids, les végétaux, en effet, par une sorte de transpiration continuelle, puisent dans le sein de la terre, et perdent par évaporation une quantité d'eau considérable qu'on ne saurait préciser, et dont la détermination rentre plutôt dans le domaine de la physiologie végétale que dans celui de l'hydraulique agricole.

Une terre arable suffisamment meuble peut absorber à l'état d'assimilation physique, sans écoulement extérieur ou intérieur, jusqu'à 20 ou 25 p. °/₀ de son poids d'eau, et parfois davantage. Elle agit comme une éponge sur cette eau, qu'elle conserve et cède lentement à l'évaporation.

Sur le littoral de la Méditerranée, où la quantité d'eau évaporée par une nappe liquide atteint ou dépasse le double de l'eau pluviale, il est aisé de comprendre qu'une couche de terre végétale profonde puisse compenser l'inégale répartition des pluies. Il est, dans cette région, certains terrains qui, dans les années peu pluvieuses, se débarrassent

directement, par le seul fait de l'évaporation, de toutes les eaux qu'ils reçoivent.

Des résultats analogues peuvent se reproduire sous des climats beaucoup moins secs. M. Belgrand établit que dans le bassin de Paris, l'eau pluviale tombée pendant les mois chauds, alors même que la quantité en est supérieure à celle des mois froids, n'a presque aucune action sur le débit des rivières, ce qui ne peut s'expliquer que par le fait de l'évaporation immédiate ou compensée par l'absorption provisoire du sol végétal.

Les eaux pluviales qui ont échappé à l'évaporation superficielle, une fois réunies dans les lits naturels d'écoulement, depuis la source du moindre ruisseau jusqu'à l'embouchure du plus grand fleuve, sont sujettes à une nouvelle déperdition, d'autant plus considérable que le mouvement tendant à renouveler les couches d'air en contact ne peut que favoriser l'évaporation.

Il n'est donc pas étonnant que les observations faites sur le débit annuel des fleuves soient loin d'accuser un volume égal à celui des eaux pluviales. La différence est parfois très-grande, ainsi que l'indique le tableau ci-après (voir pag. 60 et 61) dans lequel nous avons groupé des résultats plus ou moins complets, empruntés aux monographies spéciales de divers cours d'eau appartenant pour la plupart à la zone tempérée septentrionale.

Un des faits les plus saillants de ce tableau est l'élévation relative de la tranche d'eau écoulée par les rivières dont le module a été observé à peu de distance des montagnes : $2^m,08$ pour la Neste ; $1^m,30$ pour l'Adda ; $1^m,28$ pour l'Arve ; $0^m,62$ pour le Rhin à la frontière du Palatinat.

Il y a tout lieu de supposer que les auteurs auxquels nous avons emprunté ces données numériques n'ont pas toujours suffisamment tenu compte de cette dernière circonstance. Leurs observations ont en général porté sur les régions inférieures des vallées, et ils ont atténué ainsi la déperdition d'eau pluviale, faute d'avoir porté à son chiffre réel celle qui tombe sur les versants des montagnes voisines des sources.

En appliquant à toute la vallée de la Garonne les résultats de l'hydromètre d'Espalié, donnant des indications moyennes pour la partie basse du bassin comprise entre Toulouse et Marmande, M. Baumgarten a négligé l'influence tout à fait exceptionnelle des régions élevées de ces bassins, dans lesquelles la quantité d'eau pluviale est incomparablement plus grande, puisque sur le bassin de la haute-Neste nous avons vu qu'elle dépassait 2 mètres. Le rapport de 0,65 entre l'eau écoulée et l'eau pluviale est donc très-probablement beaucoup trop fort pour la Garonne.

La même erreur a sans doute été commise par M. Lombardini, pour la vallée du Pô, à laquelle il applique arbitrairement le résultat moyen de l'hydromètre de Milan, indiquant une couche d'eau pluviale de $1^m,05$. Cette hypothèse est incompatible avec l'exemple cité par le même ingénieur de la rivière de l'Adda, sur laquelle des observations faites plus à proximité des montagnes ont accusé un débit réel correspondant à une tranche d'eau de $1^m,296$. Ce chiffre étant notablement supérieur à toute l'eau pluviale tombée à Milan, le résultat moyen de la région inférieure du fleuve ne saurait s'appliquer aux montagnes qui se trouvent aux sources des affluents.

Une autre erreur en sens inverse doit entacher sans aucun doute les résultats relatifs au Mississipi, extraits

DÉSIGNATION DES BASSINS.	SURFACE des bassins en hectares.	HAUTEUR ANNUELLE		MODULE ou débit moyen par seconde.	DÉBIT minim. d'étiage.	DÉBIT MAXIMUM DES CRUES		RAPPORT du débit des crues au débit d'étiage.	NOMS des OBSERVATEURS.
		de l'eau pluviale	de l'eau écoulée			Total en mètres cubes.	par hectare en litres.		
	hect.				m.	m.	l.		
Égouts de la ville de Montpellier (pluie de 0m,05 en 1h.)	10 à 15	»	»	»	»	»	138	»	
Petits affluents de l'Hérault (crue du 29 octobre 1863).	3 à 4,000	»	»	»	»	»	200	»	
Vidourle	80,000	0,93	0,55	14	0,10	1,500	19	15,000	
Orb	140,000	»	»	»	2,50	2,500	18	1,000	
Hérault	250,000	»	»	»	5	4,000	16	800	
Ardèche	243,000	»	»	»	5	7,000	29	1,400	De Mardigny.
Rhône (Arles)	9,270,000	1,00	0,58	1,718	»	14,000	1,51	»	Surell.
Id. (à Genève)	960,000	»	»	»	199	532	0,55	2,67	
Somme	610,000	»	»	»	20	55	0,09	2,75	Cambuzat.
Arve	283,000	»	1,28	112	38	785	2,76	20,00	
Saône (Lyon)	3,060,000	0,81	0,47	144	»	»	»	»	
Garonne (Tonneins)	5,193,000	0,63	0,41	659	37	10,500	2,02	283	Baumgarten.

DÉSIGNATION DES BASSINS.	SURFACE des bassins en hectares.	HAUTEUR ANNUELLE		MODULE ou débit moyen par seconde.	DÉBIT minim. d'étiage.	DÉBIT MAXIMUM DES CRUES		RAPPORT du débit des crues au débit d'étiage.	NOMS des OBSERVATEURS.
		de l'eau pluviale	de l'eau écoulée			Total en mètres cubes.	par hectare en litres.		
	hect.				m.	m.	l.		
Dordogne (Bergerac)........	1,600,000	»	»	»	36,00	4,888	3,05	136	
Neste....................	57,000	»	2,08	37,50	5	234	4,35	46,80	
Seine (à Paris)............	4;430,000	0,55	0,177	250	148	2,200	0,50	15	Dausse.
Loire (à Roanne)...........	»	»	»	»	5	7,290	»	1,458	Vauthier.
Rhin (Hollande)............	20,060,000	»	0,28	2,000	»	9,000	0,43	12	Lacroix.
Id. (Maxaw, Palatinat)....	5,700,000	»	0,62	1,335	381	4,704	0,82	»	Becker.
Èbre (Sarragosse)..........	4,000,000	»	»	»	30	5,000	1,25	167	Lesguillé.
Pô........................	6,940,000	0,78	»	1,720	314	5,149	0,77	24	Lombardini.
Adda......................	448,600	»	1,30	187	53	»	»	»	*Idem.*
Tibre.	1,672,000	0,79	»	291	165	1,710	1,02	10,40	Cavalieri.
Nil.......................	»	»	»	»	500	10,000	»	20	Favier.
Mississipi................	375,000,000	1,38	0,11	15,200	»	»	»	»	Brown.
Id. (Natchez)...........	328,000,000	»	0,27	28,000	»	»	»	»	Ellet.
Amazones..................	485,000,000	»	0,93	143,640	»	»	»	»	Tardy de Montravel.

d'un rapport de M. Brown à la Société des sciences de Philadelphie. La hauteur de l'eau pluviale portée à 52 pouces anglais, soit $1^m,32$, résulte d'une seule observation faite à Natchez près de l'embouchure du fleuve, au 32e degré de latitude. Le voisinage du golfe du Mexique, la proximité des tropiques, doivent donner en ce point une quantité d'eau pluviale qu'on ne saurait à beaucoup près considérer comme pouvant s'appliquer aux vastes plateaux du bassin du Missouri, aux contrées froides et découvertes qui forment la haute vallée du Mississipi.

Dans la chronique des *Annales des Ponts et chaussées* (1853, 2e semestre), nous trouvons des chiffres notablement différents de ceux de M. Brown pour le régime du Mississipi. Son débit moyen est évalué à 28,000 mètres cubes par seconde, soit une tranche d'écoulement annuel de 0,27 sur tout le bassin.

Un autre article des *Annales* (1857, 1er semestre) nous donne, pour le débit du Mississipi, une tranche annuelle de $0^m,256$, indiquée comme étant le quart de l'eau pluviale dont la hauteur se trouverait ainsi réduite à $1^m,02$, chiffre qui nous paraît déjà bien élevé.

Ces discordances pour un même fleuve prouvent avec quelle réserve doivent être accueillis les résultats numériques de notre tableau, provenant en général d'un nombre insuffisant d'observations. En tenant compte des erreurs considérables qui peuvent avoir été faites dans un sens ou dans l'autre, les chiffres produits n'en indiquent pas moins une grande déperdition dans la masse des eaux écoulées, qui paraîtrait pouvoir varier du tiers aux quatre cinquièmes de l'eau pluviale.

CHAPITRE III

HYDROLOGIE SOUTERRAINE.

XV.

La déperdition totale ou différence annuelle entre le produit des pluies et le débit du fleuve qui sert à l'écoulement superficiel d'un bassin, est due surtout à l'évaporation, qui agit de deux manières : en premier lieu, sur l'eau momentanément absorbée et retenue sur place par le sol spongieux des terrains meubles ; en second lieu, sur l'eau en mouvement.

Cette dernière action incessamment continuée doit croître plus que proportionnellement à la surface des bassins. Elle doit être, par suite, bien plus considérable sur le Mississipi que sur le Pô ou sur la Seine.

Les eaux qui échappent à l'évaporation s'écoulent à deux états différents. Une partie, s'infiltrant dans le sol, en ressort après un parcours souterrain limité, à l'état de sources ou de fontaines, d'un débit plus ou moins régulier. Le reste, glissant à la surface du sol, se rend directement à la mer, toujours à découvert, constituant ce que nous appellerons, avec M. Belgrand, les eaux torrentielles.

Nous nous occuperons en premier lieu des eaux de source, qui représentent l'écoulement normal et permanent de nos rivières en temps d'étiage.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'utilité et l'importance de ces sources, qui, mettant en réserve une partie des eaux pluviales, les distribuent ensuite en filets limpides pendant toute la durée de l'année, Dans cet état, les eaux servent à tous les usages domestiques, en même temps qu'aux principaux emplois agricoles. Partout où manquent ces précieuses ressources naturelles, l'homme est obligé d'y suppléer, en imitant autant qu'il est en lui le travail de la nature, en emmagasinant dans des réservoirs artificiels l'eau pluviale nécessaire à tous ses besoins.

Les réservoirs naturels qui emmagasinent les eaux des sources et en régularisent les débits, se rapportent à deux types principaux : réservoirs arénacés et réservoirs caverneux. Les réservoirs arénacés sont de simples amas de matières perméables ou de fragments non contigus laissant des vides entre eux, des couches de sables ou de graviers, des détritus de toute sorte, parfois même des bancs de roches poreuses. Dans les interstices de ces formations peut se loger une quantité d'eau plus ou moins considérable, dont l'écoulement est d'autant plus régulier, d'autant plus prolongé, que la couche aquifère se prolonge sur un espace plus étendu, est formée de substances minérales ayant des vides plus nombreux et plus petits.

Tous les terrains qui ne sont pas entièrement compactes, exposés à l'air libre, s'imprégnent d'eau pendant les pluies. Cette eau descend lentement à travers les vides du sol, soit directement sur la verticale, soit en suivant l'inclinaison d'une couche imperméable, jusqu'à ce qu'elle atteigne d'autres eaux souterraines à l'état de repos, c'est-à-dire n'ayant plus d'espaces libres au-dessous d'elles. Tant que ces eaux réunies n'auront pas d'issue extérieure, leur niveau s'élèvera, et elles finiront par atteindre un point ou

orifice d'écoulement qui leur livrera passage au-dessus des terrains imperméables. Cet orifice produit la source, dont l'écoulement continue tant que persiste l'égouttage ou le suintement des couches perméables. L'égouttage ne s'opère que très-lentement, à raison de l'adhérence naturelle de l'eau sur les parois des petites cavités successives qu'elle parcourt. Pour peu que les couches perméables aient d'étendue, l'écoulement est permanent; le débit en est seulement variable avec le plus ou moins d'abondance des eaux qui entretiennent la couche alimentaire.

Les sources de cette nature, analogues à celles que l'on rencontre par le sondage dans les puits artésiens, ont en général un faible débit, mais sont très-multipliées. Elles se reproduisent sur toute la série des points les plus bas d'affleurement de la couche perméable avec la couche imperméable supérieure.

Les eaux qui pénètrent dans une couche filtrante déposent ordinairement à la surface les troubles, les limons dont elles sont chargées; elles ressortent par suite limpides et pures, ne contenant que les principes solubles qu'elles ont rencontrés et dissous en chemin.—Parmi ces principes, il en est parfois qui, solubles dans certaines circonstances, cessent de l'être dans d'autres. Tels sont surtout le carbonate de chaux et certains composés ferrugineux ou organiques qui, momentanément dissous par les eaux, se déposent plus loin et empâtent peu à peu les pores de la couche filtrante, dont la nature se trouve ainsi complètement transformée. C'est à des actions de ce genre que doivent être attribués les ciments calcaires, ferrugineux ou autres, qui relient les éléments sablonneux de certaines formations géologiques, telles que les grès et la plupart des amas métalliques qui se retrouvent dans les terrains de sédiment.

Les couches perméables, dont nous nous occupons surtout dans cet article, s'enfoncent en général sous les terrains imperméables qui leur servent de toit, bien au-dessous du niveau d'émergence des sources qu'elles alimentent. Elles constituent les nappes artésiennes, qui parfois plongent sous les mers, sans qu'il soit nécessaire d'admettre qu'elles aient avec elles une communication directe. Il n'est sans doute pas impossible que ces nappes souterraines aient des évents naturels dans le lit ou à l'embouchure des grands fleuves, quelquefois même à une certaine distance en pleine mer. Cette dernière circonstance doit être cependant d'autant moins fréquente que, à mesure que les couches extérieures s'enfoncent sous la mer, elles doivent en être séparées par une épaisseur de plus en plus grande des formations supérieures, sur lesquelles l'eau de l'Océan, chargée de sel, pèse à même hauteur, d'un poids supérieur à celui des eaux douces accumulées dans la nappe artésienne.

Il est donc aisé de comprendre que les eaux artésiennes qui n'ont pas trouvé d'issue à la surface du globe, puissent rester indéfiniment renfermées dans les couches sous-marines qui les contiennent. La différence de densité résultant de l'inégale température du globe à diverses profondeurs, doit cependant tendre à renouveler les eaux ainsi emprisonnées, en déterminant des courants intérieurs qui ramènent les couches les plus profondes à la surface des niveaux extérieurs d'écoulement de la nappe artésienne.

XVI.

Les sources de la seconde espèce sont alimentées par des réservoirs formés de grandes cavités souterraines qui ont été produites le plus souvent par des dislocations géo-

logiques, plus rarement par la désagrégation et l'entraînement de certaines couches placées entre d'autres plus résistantes.

On pourrait encore, à cet égard, distinguer deux sortes de sources, suivant la nature et l'origine des réservoirs alimentaires, suivant que ces réservoirs constituent des failles de dislocation sensiblement verticales, ou de simples boursouflures dans le sens de la superposition des couches. Mais cette distinction serait plus apparente que réelle. Les réservoirs de cette dernière nature sont toujours plus ou moins recoupés et rattachés entre eux par une cassure.

La faille est le type essentiel pour les réservoirs souterrains, bien plus encore que pour les vallées extérieures. Elle présente en dessous du sol des caractères analogues à ceux qu'on rencontre au-dessus, une série d'élargissements reliés par des parties étranglées.

On retrouve dans ces formations inférieures des phénomènes généraux d'érosion et de dépôt analogues à ceux des vallées. L'action des eaux qui a déterminé ces phénomènes a été cependant plutôt dissolvante que mécanique [1]. Les agrandissements se produisent en général par l'attaque des parties solubles, les dépôts par voie de concrétion des matières dissoutes. Le constitution minérale des terrains encaissant la faille joue naturellement un grand rôle dans la formation des réservoirs souterrains.

Dans les conditions ordinaires, il est peu de substances

[1] La plupart des sources sont claires et limpides, sans matières minérales tenues en suspension. Il est cependant des exceptions à cette règle. Nous connaissons notamment, dans le département de l'Hérault, plusieurs sources provenant surtout des terrains de trias, dont les eaux sont constamment troubles et chargées d'une forte proportion de matières solides.

qui soient directement dissoutes par l'eau. A part les chlorures, éminemment solubles, mais qui ne se rencontrent que rarement, certains sulfates (le sulfate de chaux surtout, assez abondamment répandu dans la nature) sont les matières qui cèdent le plus habituellement à l'action dissolvante des eaux pluviales.

Cette action naturelle peut toutefois être accrue par diverses causes. La plus importante est la constitution même des eaux affluentes, qui ne sont pas toujours chimiquement pures, qui sont en général chargées d'une proportion plus ou moins forte d'acide carbonique provenant, soit de l'atmosphère, soit du filtrage à travers les terrains meubles contenant de l'humus en décomposition, soit enfin des émanations des couches inférieures.

De telles eaux jouissent de la propriété de dissoudre certains carbonates, et principalement le carbonate de chaux.

L'action érosive des eaux contenues dans une faille peut être également augmentée par la profondeur de la cassure, qui plonge parfois jusqu'aux couches les plus chaudes de l'écorce terrestre. Dans ces circonstances, les eaux acquièrent un excès de chaleur et de pression qui leur communique des propriétés dissolvantes toutes nouvelles et leur permet d'attaquer des substances minérales complètement insolubles à la surface.

Il n'est point nécessaire d'admettre l'existence d'un siphon complet, d'un tuyau à parois fermées, pour se rendre compte du trajet que les eaux thermales, entrant froides par l'orifice supérieur de la faille, doivent parcourir, pour ressortir chaudes à la surface du sol.

La différence de densité résultant de la chaleur inégale des couches successives suffit pour expliquer ce phénomène. Les eaux froides tombent au fond de la faille, d'où remontent

au contraire les eaux inférieures, devenues chaudes et plus légères. Il se produit ainsi, parfois presque sur place, un double courant qui doit renouveler incessamment la masse des eaux emprisonnées.

Nous pourrions, au point de vue de leur action dissolvante, classer les sources en trois catégories.

En premier lieu, nous aurions les sources froides et salines, résultant de la solubilité naturelle des substances qui se trouvent dans les couches traversées. Telles seraient les sources contenant des chlorures, des sulfates et d'autres sels directement solubles dans l'eau pure.

Viendraient ensuite les sources carbonatées, agissant par l'action dissolvante de l'acide carbonique contenu dans les eaux, dont les sources calcaires constitueraient le type principal.

Les sources thermales, enfin, agissant par les propriétés spéciales que la température et la pression impriment aux eaux dans le fond des failles, formeraient le troisième groupe[1].

Quelle que soit la cause de l'action dissolvante des eaux de source, cette action doit naturellement tendre à agrandir les cavités souterraines servant de réservoir. Une source thermale contenant parfois jusqu'à 0,003 ou 0,004 de son poids en substances minérales dissoutes, agrandit ses bassins intérieurs d'un volume égal à son débit journalier, en un ou deux ans. Pour les sources calcaires qui ne contiennent que 0,0002 à 0,0003 de matières dissoutes, le

[1] A cette action ordinaire de température et de pression peut se joindre parfois celle des acides carbonique, sulfhydrique et autres qui émanent des couches inférieures de la couche terrestre. Les sources thermales, sous ce rapport, se rapprochent souvent de celles du groupe précédent.

délai nécessaire pour obtenir ce surcroît de réserve pourrait atteindre vingt-cinq à trente années. Peu importe le temps dans lequel s'effectue ce travail; quand on songe à l'énorme durée de la période géologique, pendant laquelle de pareils phénomènes se sont produits, on comprend les immenses étendues de ces réservoirs et les désordres résultant des éboulements intérieurs, qui souvent modifient le régime des sources thermales et sont peut-être une des causes les plus fréquentes de tremblements de terre.

Quel que soit leur mode particulier d'action dissolvante, les sources ont en général leurs réservoirs alignés sur la direction d'une faille principale. Nous verrons plus tard (XLVIII) quelle est la continuité des failles à la surface du sol. Cette continuité est bien plus nettement accusée encore dans les cavités souterraines.

Les failles provenant d'actions géologiques anciennes sont parfois masquées à la surface du sol. Recouvertes par des terrains plus récents, elles n'apparaissent plus que par tronçons discontinus, souvent difficiles à rattacher entre eux.

Il en est tout autrement dans le sous-sol : les failles aquifères se prolongent sous les dépôts de la surface, suivant des directions régulières, dont l'étude approfondie paraît devoir constituer une des branches les plus intéressantes de la géologie.

Ces failles sont souvent barrées de distance en distance par des dépôts ou des resserrements de parois qui les divisent en bassins distincts ayant des issues extérieures, naturellement échelonnées à des niveaux différents. L'observation attentive des directions géologiques permet parfois de rattacher l'une à l'autre des sources nombreuses, en apparence distinctes, qui sont cependant échelonnées sur

le parcours d'une même cassure du sol, et doivent à cette identité d'origine des propriétés communes fort importantes à étudier [1].

Les failles aquifères, comme les filons métalliques qui n'en sont qu'un cas particulier [2], sont en général recoupées par d'autres failles produisant une série de réseaux souterrains en communication plus ou moins directe les uns avec les autres. Un même réseau peut alimenter à la fois plusieurs sources, avoir plusieurs orifices d'évacuation. S'il n'existait aucun obstacle intérieur à l'écoulement des eaux, ces divers orifices ne pourraient être que des déversoirs, rigoureusement au même niveau. Mais on ne doit

[1] Notre attention a été surtout attirée sur ce point par notre collègue et ami M. de Cizancourt, qui a bien voulu prêter à notre travail un sympathique et bienveillant concours dont nous sommes heureux de pouvoir le remercier ici. Il résulte des observations de cet ingénieur, que la plupart des sources minérales du centre de la France, du littoral de la Méditerranée à la vallée de l'Allier, ne constituent qu'une seule famille dépendant de failles de même origine et de même direction.

Ces failles sont orientées sur des lignes parallèles au soulèvement principal de la ligne des volcans éteints et des épanchements de basaltes, qui se poursuit sans interruption du mont d'Agde aux anciens cratères de l'Auvergne. Sur les deux versants de ce soulèvement, appartenant au système du Ténare, concordant avec la direction qui joint le Vésuve à l'Etna, s'alignent les innombrables sources thermales qui sillonnent le centre de la France sur deux bandes parallèles, de Lamalou au mont Dore d'un côté, de Balaruc à Vichy de l'autre.

C'est également à cette direction du Ténare que nous avons vu personnellement se rattacher un grand nombre de failles très-étendues qui recoupent toutes les formations secondaires et tertiaires du département de l'Hérault, et amènent par des voies souterraines une partie notable des eaux continentales au voisinage des lagunes et des marais du littoral.

[2] M. de Cizancourt nous paraît avoir très-nettement défini ce rapport des sources et des filons, en disant : Une source est un filon qui coule, un filon est une source qui ne coule plus.

pas oublier que les conduits souterrains sont loin d'être également libres et ouverts sur tous les points. Ils présentent des étranglements plus ou moins obstrués de dépôts et de débris, constituant de véritables conduites forcées à travers lesquelles les eaux ne peuvent se frayer une issue qu'en vertu d'une certaine pression et d'une perte de charge variable.

On conçoit dès-lors que des sources de niveau très-différent puissent être alimentées par un même réservoir souterrain, au même titre que, dans la distribution d'une ville, tous les orifices de prise d'eau sont soumis à la charge commune d'un réservoir supérieur.

Cet effet de pression hydrostatique réglant l'écoulement général de sources en apparence différentes, bien qu'elles aient une même origine, a été très-heureusement mis à profit par M. l'inspecteur-général des mines François, dans ses beaux travaux théoriques et pratiques sur l'aménagement des sources thermales. C'est à cet éminent ingénieur que nous devons surtout de comprendre que le débit et la température d'une source thermale puissent être parfois influencés par la pression d'une masse d'eau froide, souvent fort éloignée. Dans un réseau ramifié de failles aquifères, la pression moyenne des eaux contenues dans la faille centrale, détermine l'écoulement des divers orifices; mais la nature et la température des sources alimentées peut varier et ne dépend que de la constitution minérale des conduits particuliers que suit chacune d'elles.

XVII.

Les sources les plus remarquables au point de vue de l'importance des cavités souterraines qui les alimentent, sont celles qui proviennent des terrains calcaires.

Les plateaux de cette nature sont en général arides et sans vallées distinctes. Les eaux ne séjournent ni ne courent à leur surface; elles s'infiltrent par mille fissures dans l'épaisseur du massif, et se rassemblent dans des failles intérieures que leur action dissolvante agrandit chaque jour.

Telle est l'origine de ces grands réservoirs qui alimentent nos sources les plus abondantes. Ces sources ont en général leur issue latérale au point le plus bas de la ligne de séparation du calcaire et des terrains imperméables en contact avec lui; parfois cependant elles s'échappent de la roche calcaire elle-même, à une grande hauteur au-dessus du fond des vallées.

Par l'étendue des réservoirs et des canaux qui les alimentent, les sources calcaires sont susceptibles de donner pendant longtemps un débit assez régulier, sans que de nouvelles pluies viennent les renouveler. Des sources de ce genre ont dû exister à toutes les époques géologiques. On en retrouve les traces dans les immenses cavernes dont sont criblées toutes les montagnes calcaires à un niveau supérieur à celui des écoulements actuels; inextricables labyrinthes de salles et de galeries s'étendant à de grandes distances dans toutes les directions. Ces cavernes ne sont que les anciens réservoirs de sources dont le niveau s'est abaissé à mesure que les vallées ont été plus profondément labourées et recreusées par de nouveaux courants diluviens.

Ces réservoirs abandonnés par les eaux peuvent nous donner une idée de la configuration et de l'étendue de ceux qui fonctionnent encore aujourd'hui à un étage inférieur; ceux-ci, le plus souvent, communiquent sur divers points avec les premiers, et il est même parfois possible de

les parcourir et de les visiter sur une certaine partie de leur étendue.

Les sources alimentées par ces galeries souterraines ont habituellement une très-grande puissance[1]. De ce nombre est la célèbre fontaine de Vaucluse, alimentée par les filtrations d'un plateau néocomien de 100,000 hectares. Son débit ne descend jamais au-dessous de 12 mètres cubes au plus bas étiage, et peut s'élever jusqu'à 40^{m} dans les hautes eaux.

Comme exemple analogue, nous pourrions citer dans l'Hérault une source également fort importante, celle du Lez, qui ne donne jamais moins de 800 à 1000 litres par seconde au plus bas étiage.

La source du Lez jaillit au pied d'un énorme rocher calcaire, au fond d'un gouffre ou bassin naturel de 15 à 20^{m} de profondeur, dont le niveau a été relevé artificiellement par un barrage servant à la mise en jeu d'un moulin.

Nous avons eu personnellement occasion de faire abaisser le niveau de cette retenue, pour faciliter l'établissement des ouvrages régulateurs d'une dérivation pratiquée par la ville de Montpellier[2].

[1] Les eaux calcaires, perdant assez rapidement leur acide carbonique au libre contact de l'air, laissent déposer à mesure le carbonate de chaux dont elles sont chargées. Telle est l'origine des formations de tuf, qui, par leur importance, nous indiquent à l'extérieur celle des cavités souterraines creusées par l'action dissolvante des eaux.

Les eaux calcaires du midi de la France contiennent en général 0,0002 de leur poids de carbonate de chaux. Appliquée à la source de Vaucluse, dont le débit annuel est de 600 millions de mètres cubes environ, cette proportion représente un poids de 120 millions de kilogrammes de carbonate de chaux, soit un accroissement de 60,000 mètres cubes dans la cavité des réservoirs souterrains de la source.

[2] La ville de Montpellier était, depuis un siècle environ, alimentée

Les travaux terminés, on ferma la brèche du barrage, pour laisser remonter à leur ancien niveau les eaux qui avaient été abaissées de $1^m,20$ environ. Elles se relevèrent rapidement de $0^m,40$; mais pour atteindre le déversoir supérieur, c'est-à-dire pour regagner une hauteur de $0^m,80$, elles ne mirent pas moins de sept à huit heures. La surface du bassin visible extérieur ne dépassant pas 1000^m, il est nécessaire d'admettre que pendant tout ce temps les eaux ont dû s'accumuler dans de vastes bassins intérieurs, à niveau horizontal, dont la surface peut aisément se déduire du volume des eaux qui l'ont rempli. En comptant sur un débit de 800 litres seulement, et ce jour-là le produit de la source était certainement plus considérable, il n'a pas dû s'emmagasiner en sept heures moins de 20,000 mètres cubes d'eau sur une hauteur de $0^m,80$, ce qui exige une superficie totale de 25,000 mètres carrés pour l'ensemble du groupe des cavernes intérieures et des conduites grandes ou petites existant à la hauteur du niveau de l'écoulement habituel des eaux. Ce chiffre suffit pour faire comprendre quelle étendue doivent avoir les étages supérieurs de ces cavités, dont le réseau s'étend dans le massif des montagnes et plateaux calcaires occupant le centre et le nord de l'arrondissement de Montpellier. Des feuilles de châtaignier, arbre qui croît au plus près dans les Cévennes, à plus de 30 kilomètres de distance, remarquées plusieurs fois dans les eaux de la source du Lez, indiquent en effet

par les eaux d'une source voisine de celle du Lez, dont le débit très-variable se réduisait parfois à 10 ou 12 litres par seconde en temps d'étiage. Cette quantité ayant été reconnue insuffisante pour les besoins d'une population de 50,000 âmes, la ville fut autorisée à dériver du bassin du Lez un surcroît d'approvisionnement de 25 litres par seconde.

que son rayon d'alimentation doit au moins se prolonger jusque-là.

Une source d'origine probablement analogue à celle du Lez, bien que, avant de paraître au jour, elle traverse les terrains tertiaires, la source de l'Issanka, récemment utilisée pour l'alimentation de la ville de Cette, nous a donné des résultats tout différents. Son débit à l'étiage est habituellement de 300 litres par seconde, et le niveau en a été également relevé par un barrage artificiel. En prévision d'un appauvrissement exceptionnel de cette source et pour en recueillir soigneusement toutes les eaux, il a été établi, dans la prairie en amont du barrage, une galerie de drainage en maçonnerie, dont le radier se trouve à $2^m,50$ environ au-dessous de la retenue. Une vanne de fond permet d'abaisser ou de relever à volonté le plan d'eau dans cette galerie. Des variations de niveau de plus de $1^m,50$ n'ont jamais eu d'influence bien caractérisée sur le débit. La galerie de drainage se remplit ou se vide très-rapidement, ce qui exclut la possibilité de l'existence d'aucun bassin d'une certaine étendue dans l'amplitude du remous produit par la fermeture de la vanne.

Un phénomène inverse s'est produit au contraire à la source de la Roubine, récemment utilisée pour le lessivage des marais de Vic. Ses eaux sortent au pied d'une montagne calcaire, au niveau même des étangs du littoral, avec lesquels le bassin de la source communique par un canal navigable. Les fluctuations de ces étangs ont une influence marquée sur le débit de la source. Un barrage mobile établi en tête du canal de navigation, pour dériver les eaux d'arrosage, permet d'en relever la hauteur, mais très-faiblement. Les eaux retenues par le barrage montent de $0^m,30$ à $0^m,40$ au-dessus du bief inférieur en communication libre

avec les étangs, mais rarement plus haut. A cette hauteur, le bief supérieur se maintient invariable, sans écoulement apparent, ce qui implique la nécessité d'admettre un déversement des eaux du bassin intérieur allant se faire jour ailleurs. Ce déversement a peut-être lieu en un point unique des lagunes du littoral que nous n'avons pu découvrir encore. Il parait cependant beaucoup plus probable que la déperdition des eaux s'opère par une filtration générale à travers la masse totale des calcaires fissurés et perméables qui forment tout le sous-sol de la contrée.

Les trois sources que nous venons de citer se rapportent donc à trois types très-tranchés, quant à la nature des réservoirs qui les alimentent à la hauteur du niveau d'émergence :

Réservoir caverneux à parois imperméables et de très-grandes dimensions, pour la source du Lez;

Réservoir caverneux à parois imperméables, mais de très-petites dimensions, pour les sources de l'Issanka ;

Réservoir caverneux de dimensions indéterminées, mais à parois perméables ou fissurées, pour la source de la Roubine.

XVIII.

Au nombre des curiosités naturelles de diverses contrées on cite un grand nombre de lacs intérieurs, bassins souterrains de ces sources calcaires, dans lesquels il est possible de pénétrer. Sans aller chercher des exemples loin de nous, nous pourrions signaler, dans le département de l'Hérault, plusieurs points où ces nappes souterraines sont abordables; nous avons même tout lieu de penser qu'avec un peu de persévérance, on arriverait à en atteindre d'autres et à les explorer sur de grandes étendues. Cette étude, si jamais

elle est tentée, n'aurait pas seulement un intérêt de pure curiosité, elle pourrait avoir parfois des conséquences heureuses au point de vue de l'aménagement de cette réserve d'eau souterraine.

Les terrains calcaires n'emmagasinent pas seulement, dans leurs cavernes intérieures les eaux directement tombées à la surface de leur formation géologique; ils absorbent parfois les eaux d'écoulement provenant de régions supérieures à fond imperméable. On connait un grand nombre de rivières qui s'engouffrent ainsi dans des cavités souterraines, pour reparaître à de grandes distances.

Dans le département de l'Hérault, nous pourrions citer la petite rivière de la Mosson qui, en temps d'étiage, sur un parcours de 30 kilomètres, disparait et reparait deux fois suivant qu'elle passe d'un terrain tertiaire à une formation calcaire, et réciproquement.

Comme exemple plus célèbre, nous pourrions rappeler le régime du lac Copaïs en Grèce. Cette nappe d'eau, qui en hiver couvre une superficie de 15,000 hectares, occupe la dépression d'une vallée qui reçoit les eaux des versants du Parnasse, et qui est séparée du canal de Négrepont par une chaine de collines calcaires.

Une série de canaux souterrains traversant cette formation dans toute son épaisseur, assurent l'écoulement du trop plein du lac, mais dans des conditions malheureusement très-insuffisantes. On a essayé d'élargir ces voies souterraines en profitant des moments où elles se trouvaient accidentellement à sec. Toutes les tentatives faites dans ce but sont restées jusqu'ici sans résultat; à la suite de vastes cavernes formant l'entrée de ces évents, on n'a plus trouvé que d'étroites fissures qu'il a été impossible d'explorer jusqu'au bout.

Nous n'abandonnerons pas la question des sources sans signaler comme formant une catégorie en quelque sorte intermédiaire, certains écoulements d'un débit remarquablement régulier, qui sont alimentés par des réservoirs calcaires analogues à ceux dont nous venons de parler, mais qui, au lieu d'avoir une issue naturelle à l'air libre, ne se vident que par une lente filtration à travers les couches poreuses de terrains inférieurs. Telles sont les sources nombreuses qui jaillissent sur tous les flancs de la rive droite de Lergue, aux abords de Lodève.

Cette ville est dominée au nord par un vaste causse ou plateau, dont les assises horizontales présentent sur une tranche de 6 à 700^{m} de hauteur, la série successive de toutes les formations géologiques comprises entre les marnes irisées à la base et les calcaires de l'oolithe à la surface du plateau.

Les eaux pluviales, absorbées par les calcaires supérieurs, alimentent surtout des sources puissantes qui naissent à la rencontre des marnes supraliasiques, à une grande hauteur au-dessus du fond de la vallée. Une partie des eaux intérieures cependant, traversant les marnes supraliasiques, glisse à travers les calcaires fissurés du lias et atteint les marnes irisées. Les couches alternatives de grès et d'argile de cette dernière formation constituent autant de filtres successifs dans lesquels se distribuent les eaux. A chaque plissement des couches naît une série de suintements superposés dont la réunion produit une petite source plus ou moins abondante, suivant l'étendue relative des deux revers qui l'alimentent.

CHAPITRE IV

HYDROLOGIE SUPERFICIELLE ET CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES ALLUVIONS MODERNES.

XIX.

Nous avons appelé eaux torrentielles, suivant la définition de M. Belgrand, celles qui proviennent de l'écoulement direct à la surface du sol, par opposition aux eaux tranquilles, qui sont le produit des sources. La proportion suivant laquelle une même quantité d'eaux pluviales se répartit entre ces deux genres d'écoulement est très-variable. Il est certains terrains, les formations calcaires surtout, qui absorbent presque en totalité les eaux qu'ils reçoivent à la surface, tandis que sur d'autres, tout ce qui n'est pas évaporé s'écoule superficiellement avec une vitesse d'autant plus grande que la pente du sol est plus prononcée. De la proportion plus ou moins grande de terrains perméables ou imperméables résulte donc une première différence dans le régime des cours d'eau; mais cette cause n'est pas la seule, et les variations de régime dépendent tout au moins autant de l'étendue relative des bassins ainsi que de l'intensité et de la périodicité des pluies.

Dans les climats sujets à des trombes subites, analogues à celles que nous avons citées (XIII), une seule averse d'une ou deux heures de durée, non-seulement peut occasionner une inondation tout à fait anormale de l'affluent

sur le bassin duquel elle a éclaté, mais suffit parfois à produire une grande crue dans la rivière plus importante où débouche cet affluent. Pareil fait s'est produit pour la trombe du 29 octobre 1860, qui s'est abattue autour de la ville de Clermont sur une surface de 30,000 hectares, dont 25,000 au plus dans la vallée de l'Hérault. Toutes les petites rivières, tous les ravins compris dans sa zone d'action, ont éprouvé des crues accidentelles dont le débit ne correspondait pas à moins de 278 litres par seconde et par hectare. Le produit réuni de tous les affluents, sur ce périmètre de 25,000 hectares, a suffi pour occasionner dans la région inférieure de l'Hérault, dont le bassin total est pour le moins dix fois aussi étendu, une inondation correspondant à un débit de plus de 4,000^{m} par seconde, dépassant tout ce que, de mémoire d'homme, on avait vu jusque-là sur cette rivière.

Encore faut-il remarquer qne la trombe s'étant dirigée du sud-est au nord-ouest, en remontant le cours des affluents, leurs crues successives ont dû s'écouler en grande partie l'une après l'autre, sans jamais superposer leur maximum d'effet; ce qui serait infailliblement arrivé si la trombe avait suivi une marche inverse. Cette dernière circonstance doit, d'ailleurs, se rencontrer rarement en tout pays. De pareilles masses d'eau ne peuvent évidemment être produites que par des courants atmosphériques exceptionnellement saturés d'humidité, comme tels provenant de la mer. Ils doivent, par suite, marcher en remontant la rivière principale, et ne peuvent rencontrer les affluents secondaires que successivement, en commençant par ceux d'aval.

Le débordement du 29 octobre 1860 n'en en a pas moins été le plus considérable qu'on eût encore remarqué

sur l'Hérault, dont le bassin a environ 250,000 hectares de superficie. Les plus grandes crues de cette rivière provenant rarement d'un phénomène aussi circonscrit, sont dues le plus souvent à l'action de pluies régulières et continues qui se font sentir à la fois sur toute la surface du bassin, pendant un ou plusieurs jours consécutifs. Le débit maximum étant dans ces circonstances de 4,000 mètres cubes à l'embouchure, correspond à un débit de 16 litres par seconde et par hectare, soit à une hauteur moyenne de $0^m,138$ d'eau pluviale en 24 heures sur toute la surface du bassin. Cette quantité est en général supérieure à ce qui tombe dans les parties basses de la vallée, mais elle est sans doute notablement dépassée dans les régions montagneuses, aux sources de l'Hérault.

Les crues de l'Ardèche sont proportionnellement bien plus considérables encore. Le débit de celle du 10 octobre 1827 a été, d'après M. Mardigny, de $7,000^m$, ce qui, pour un bassin de 245,000 hectares, un peu inférieur à celui de l'Hérault, représente près de 29 litres par seconde et par hectare, soit une tranche d'eau pluviale de $0^m,248$ en 24 heures.

Ces résultats excessifs sont rarement atteints dans nos contrées de la zone tempérée. L'Ardèche, qui n'est qu'un affluent relativement peu considérable du Rhône, peut à elle seule occasionner dans ce fleuve les mêmes effets que nous avons vu produire sur une plus petite échelle, dans la vallée de l'Hérault, par une partie de ses affluents. Jointe aux petites rivières du même département, telles que l'Érieux, le Doux et la Cance, elle amène dans le bas-Rhône des crues presque aussi considérables que celles qui peuvent résulter de l'action réunie de tous les affluents supérieurs, représentant une surface trente fois plus considérable.

Le maximum des crues du Rhône ne paraît pas en effet dépasser 14,000 mètres cubes, ce qui, pour une superficie de 10 millions d'hectares, représente en une seconde un débit de $1^{l},4$ par hectare et une couche superficielle de $0^{m},0125$ en 24 heures.

Bien que très-inférieur au produit équivalent des petites rivières torrentielles, telles que l'Hérault et l'Ardèche, ce débit n'en est pas moins supérieur à celui de la plupart de nos autres fleuves d'une importance égale ou supérieure, comme étendue de bassin, à celle du Rhône.

XX.

Le tableau général inséré pag. 60 et 61 indique, quant à l'intensité relative des crues, de très-grandes différences dues à diverses causes.

Ce sont en premier lieu les influences de formation géologique et de climat, celles qui différencient, par exemple, la Somme et la Seine d'un côté, l'Ardèche et la Garonne de l'autre : d'une part, dans les pays de plaine, sous le climat humide du nord, un rgime relativement régulier, des crues faibles, un étiage élevé ; d'autre part, dans les contrées montagneuses, un régime très-irrégulier caractérisé par des étiages très-faibles et des crues excessives.

A surfaces égales de bassins, l'irrégularité du régime devrait croître à mesure que les bassins sont entourés de montagnes plus élevées, et que la tranche annuelle des eaux pluviales est plus grande ; elle devrait aller en augmentant de la Garonne au Rhône, du Rhône au Pô. Il n'en est cependant pas ainsi, par suite d'une cause particulière dont il est indispensable de tenir compte, qui est l'influence

régulatrice qu'exercent, sur différents cours d'eau, les lacs qu'ils ont à traverser près de leur source. Il suffit de jeter un coup d'œil sur une carte de géographie, pour reconnaître que les lacs situés sur tous les affluents de la rive gauche du Pô doivent exercer sur les crues de cette rivière et sur son débit ordinaire, une action considérable qu'on ne rencontre plus qu'à un moindre degré sur le Rhône, qui manque complétement sur la Garonne.

Les glaciers, les neiges, qui s'amoncellent sur les hautes montagnes en hiver, et fondent plus ou moins vite au printemps, doivent contribuer, au même titre que les lacs, à rendre le régime de certains fleuves plus uniforme, en diminuant le débit des crues, augmentant celui des étiages.

Tel est, en effet, le résultat le plus habituel des glaciers stables et permanents. Quant aux neiges accidentelles qui couvrent toutes les régions montagneuses pendant la saison des froids, leur fonte rapide, loin de modérer l'action des crues, ne peut que l'accroître lorsque le dégel coïncide avec les fortes pluies du printemps. Le volume des eaux pluviales se trouve en quelque sorte doublé par celui de la neige brusquement fondue.

Mettant à part l'influence régulatrice des sources, des lacs ou réservoirs naturels, et des glaciers permanents, nous voyons d'ailleurs que le débit des plus grandes crues par hectare de bassin, ce que nous appellerons leur intensité relative, va en décroissant très-rapidement avec l'étendue des bassins. Si nous prenons comme bases extrêmes, d'une part les petites rivières de l'Hérault, de l'autre le Rhin, la surface et le débit de l'Hérault servant d'unités, nous trouvons les résultats suivants pour une série de cours d'eau d'importance intermédiaire appartenant tous à la zone tempérée :

DÉSIGNATION DES COURS D'EAU.	SURFACE DU BASSIN.	DÉBIT RELATIF DES CRUES.
Affluents de l'Hérault.....	4,000 h	15,66
Hérault................	255,000	1,00
Neste..................	57,000	0,14
Garonne................	5,193,000	0,12
Seine..................	4,430,000	0,031
Rhône..................	9,270,000	0,09
Pô.....................	6,940,000	0,048
Rhin...................	20,600,000	0,027

XXI.

Le débit des inondations décroît très-rapidement lorsque la surface du bassin augmente, non-seulement en valeur relative, mais parfois même en valeur absolue.

Nous pourrions citer l'exemple des nombreuses rivières torrentielles qui coulent sur les versants sud de l'Atlas, en Algérie. Leurs crues, parfois considérables dans la région des montagnes qui leur donnent naissance, se perdent dans les sables ou les déserts avant d'avoir atteint les lacs salés, où se terminent leurs lits desséchés.

Plus près de nous, nous pourrions constater des cas analogues. Nous avons parlé des crues énormes débitant jusqu'à 1,000 mètres cubes par seconde, pour des bassins de 3 à 4,000 hectares de superficie, que présentent parfois les petits cours d'eau qui découpent le versant des montagnes formant le littoral de la Méditerranée. Lorsque ces affluents torrentiels se réunissent, à peu de distance, dans une rivière plus importante, comme l'Hérault ou l'Ardèche, ils peuvent

y produire des débordements parfois plus considérables que ceux qui résultent d'une pluie générale. Mais lorsqu'ils continuent isolément leur course jusqu'au voisinage de la mer, leur crue subite et de peu de durée s'aplatit et s'efface à mesure qu'elle s'avance. Faute d'être suffisamment alimentée, elle se réduit parfois des deux tiers, sur des parcours de 30 à 40 kilomètres entre la source et l'embouchure.

Cet affaissement de la crue en dehors de la région des montagnes où s'abattent les grandes averses, résultant du peu de durée de ces trombes locales, est un fait trop facile à comprendre, pour que nous ayons besoin d'insister sur ce point. Il n'est pas moins nécessaire d'en tenir compte dans bien des circonstances, notamment pour les questions qui se rattachent aux ouvertures des ponts.

On commettrait de grandes erreurs si l'on croyait toujours devoir en déterminer les débouchés d'après les surfaces relatives des bassins supérieurs. Nous pourrions citer tel cours d'eau, comme le Libron, qui a une vallée distincte entre l'Orb et l'Hérault, dont les ponts doivent être calculés à raison d'un débit de 1,200 mètres cubes près de la source, et auquel suffit un débouché de 3 à 400ᵐ près de la mer.

Les plus grands fleuves, en France, — à raison du peu d'étendue de leur bassin, que les eaux pluviales peuvent parcourir en quelques jours dans leur plus grande longueur, des sources les plus éloignées jusqu'à l'embouchure ; à raison de l'irrégularité des saisons pluvieuses, — sont tous sujets à des crues anormales plus ou moins subites, qui n'ont rien de fixe, ni quant à leur périodicité, ni quant à leur durée. Tout ce qu'on peut dire à cet égard, c'est que les grandes inondations dues plus particulièrement aux pluies qui suivent les équinoxes, se reproduisent d'une manière assez gé-

nérale à deux époques différentes, du mois de mars au mois de mai d'une part, du mois de septembre au mois de novembre de l'autre.

Sur les fleuves dont les bassins sont beaucoup plus étendus, l'effet des pluies locales tend à s'effacer de plus en plus. Dans les contrées surtout où les pluies sont uniformes et périodiques, le régime des inondations atteint une assez grande régularité, les crues sont durables et se reproduisent à époques fixes. Dans la zone tempérée, sur le Danube, sur le Mississipi, par exemple, on observe en général deux oscillations annuelles, deux mouvements alternatifs dans le niveau des eaux.

Sous la zone torride, où la saison des pluies, unique dans l'année, est beaucoup mieux marquée que dans nos climats, les rivières sont sujettes à une seule crue annuelle, comme le Nil, le Niger, le Sénégal.

XXII.

Les eaux courantes ont produit pendant toute la durée de la période géologique actuelle, et continuent à produire de nos jours, un double phénomène de déblai ou d'érosion dans les parties hautes des vallées, de remblai ou de dépôts d'alluvion dans les parties basses et principalement aux embouchures.

L'action érosive des torrents dépend plus encore de la nature géologique du sol et de l'état physique de sa surface, que de son altitude ou de l'inclinaison réelle des versants. Ce n'est pas toujours au cœur des plus hautes montagnes, aux lieux où la pente est la plus forte, que se produisent les plus grands affouillements.

Il arrive souvent que les matières meubles à portée de

l'action des eaux ont été enlevées depuis longtemps, et que la cuvette s'est assise sur la roche vive inaffouillable, ou sur des amoncellements de gros blocs enchevêtrés, offrant une très-grande résistance à l'action du courant. Dans la majeure partie des Pyrénées, les torrents roulent des eaux parfaitement limpides en temps ordinaire, à peine troubles pendant les crues. Il en est tout autrement dans les vallées ouvertes entre les contreforts diluviens ou tertiaires qui s'étagent au pied de la chaîne principale.

C'est aux affluents de ces régions intermédiaires que la Garonne d'une part, l'Aude de l'autre, doivent la grande masse de déjections que charrient leurs eaux.

Même observation peut être faite dans le massif des montagnes du centre. L'affouillement agit surtout dans les vallées relativement moins élevées des basses-Cévennes. Il n'a que peu de prise sur les roches granitiques des régions supérieures, aussi bien que sur les calcaires des terrasses moyennes.

Il ne saurait cependant y avoir de règle générale à cet égard. Les terrains meubles ou disloqués peuvent parfois se prolonger à de très-grandes altitudes, et l'on conçoit qu'en pareille circonstance l'action érosive des torrents se manifeste avec une énergie toute particulière. Tel est le résultat qui se produit sur les affluents supérieurs de la Durance, et plus généralement sur tous les cours d'eau des hautes-Alpes françaises. Cette région, formant deux départements dans la haute-Provence et le Dauphiné, est en effet le lieu où se retrouve le mieux caractérisé le type classique de ces torrents dévastateurs, dont nous devons à M. Surell une si intéressante et si complète monographie.

Trois causes réunies contribuent à développer leur action : le climat, dont la sécheresse habituelle n'est interrompue que

par des averses diluviennes analogues à celles que nous avons constatées sur les versants de l'Hérault et de l'Ardèche; la nature du sol formé d'argiles, de schistes et de calcaires disloqués et broyés; la pente excessive des revers des montagnes qui s'élèvent à des altitudes de 1,000 à 1,500^{m} au-dessus du niveau des vallées principales.

Tous les torrents des Hautes-Alpes présentent une grande uniformité d'action et d'aspect. Chacun d'eux comprend trois régions distinctes : le bassin récepteur, le goulet et le cône de déjection.

Le bassin récepteur s'ouvre comme un vaste entonnoir creusé dans de hautes montagnes, encaissé dans des parois abruptes, déchiquetées, qui s'effondrent et se liquéfient sous les trombes d'eau pluviale qu'elles reçoivent.

Le goulet est une crevasse étroite, une gorge resserrée entre des roches plus résistantes, dans laquelle les eaux contenues conservent une vitesse suffisante pour entraîner les débris enlevés au bassin récepteur.

Le cône de déjection, enfin, constitue à la traversée de la vallée principale un large talus sur lequel les eaux s'épanchent en éventail, perdent leur vitesse, et laissent déposer les matières minérales dont elles sont chargées. Les avalanches de boues et de pierres se déversant de droite et de gauche, s'étendent au loin sur d'immenses largeurs, comme une lave stérile qui recouvre les cultures et envahit parfois les lieux habités.

C'est en vain que les populations laborieuses de ces montagnes s'efforcent de lutter contre un pareil fléau, en multipliant les digues, en creusant et muraillant des canaux destinés à emprisonner le torrent, à le pousser entier jusqu'à la rivière principale.

Si irrésistible que soit la marche des torrents, il y au-

rait cependant un moyen certain de les combattre, si l'on s'attaquait à eux, non plus sur les lieux où ils produisent leurs ravages, mais à leur source même.

L'origine de la plupart des torrents des Hautes-Alpes est relativement moderne Il en est beaucoup que la génération actuelle a vus naître, il en est d'autres qu'elle a vus s'éteindre naturellement. L'observation, en même temps qu'elle accuse la cause du mal, paraît indiquer le remède en théorie, bien qu'il n'ait malheureusement pas été possible jusqu'ici de le faire passer dans la pratique.

Le déboisement paraît être à peu près l'unique cause des désastres. Ces hautes régions sont éminemment propres à la végétation forestière qui s'y était spontanément développée, qui recouvrait naguère tout le pays d'un épais manteau d'arbres touffus, dont les branches et les feuilles modéraient l'action des pluies, dont les racines entrelacées donnaient à la surface du sol une résistance qu'il n'a pas naturellement.

Un changement dans les conditions de la propriété et dans les habitudes locales, une trop grande licence laissée aux populations dans des temps de désordre, ont amené en peu d'années la destruction de la plupart de ces forêts séculaires. L'effet a été immédiat : des torrents inconnus se sont produits, ont creusé leur bassin dans les gorges dénudées. M. Surell cite un grand nombre de faits qui ne sauraient laisser de doute à cet égard; il indique même certains cas où l'on a vu les torrents les plus fougueux disparaître à la suite du reboisement des revers de leur région supérieure. Ces dernières circonstances sont malheureusement trop rares. On ne saurait se dissimuler que si l'Administration a été impuissante à prévenir le déboisement, il lui serait bien plus difficile aujourd'hui de revenir à l'ancien

état des lieux : à part les difficultés matérielles de l'entreprise, on aurait à lutter contre le mauvais vouloir des populations, qui n'ont d'autre ressource que la location de leurs montagnes, pour pâturages d'été, aux propriétaires de la basse-Provence. La contrainte serait sans doute aussi inefficace que la persuasion, pour amener les possesseurs du sol à sacrifier une ressource présente et certaine, en vue d'un avantage éventuel dont la génération prochaine serait appelée seule à recueillir les fruits.

Nous ne croyons pas nécessaire d'entrer à ce sujet dans de plus amples détails. Nous ne pouvions, en parlant des érosions, nous dispenser de parler des torrents des Hautes-Alpes, qui sont le type le plus complet que l'on puisse citer. Mais, par cela même, ils constituent une exception. Ainsi que le fait observer M. Surell, on ne les retrouve nulle part ailleurs avec une action comparable, soit que le régime des pluies ne soit plus le même, soit plutôt, comme nous l'avons dit, que les ravins aient, à la longue, entraîné tous les terrains meubles et assis leur lit invariable sur un pavage artificiel, formé des débris les plus résistants des érosions antérieures.

XXIII.

Après avoir vu en quoi consistent aujourd'hui les principaux phénomènes d'érosion dans les montagnes ; nous avons à rechercher les conditions dans lesquelles s'opère le dépôt des matières entraînées. Ces deux actions de déblai et de remblai ne sauraient cependant être toujours complètement isolées, elles coïncident l'une avec l'autre le plus souvent. Il est peu de points où le courant produise des dépôts, sans qu'il opère en même temps un remaniement partiel des dépôts précédents.

Mais avant d'étudier cette nouvelle forme du travail des eaux, il nous paraît nécessaire de signaler quelques caractères communs à toutes les matières minérales qui sont transportées par les courants. Il existe à cet égard, en effet, des lois générales peu connues, qui nous donneront la clef des formations modernes, si importantes au point de vue agricole, puisqu'elles constituent en général nos terres végétales les plus fertiles.

Les débris empruntés, soit aux terrains géologiques supérieurs, soit aux alluvions et dépôts déjà formés dans les parties inférieures d'un bassin quelconque, sont entraînés par les eaux à des états très-différents que nous rapporterons à deux classes essentiellement distinctes : les *arènes* et les *limons*. Sous le nom générique d'*arènes*, nous comprendrons tous les fragments minéraux conservant des formes déterminées, de volume appréciable, depuis les blocs les plus gros jusqu'aux sables les plus fins, qui, ayant un poids spécifique très-notablement supérieur à celui de l'eau, ne peuvent être soulevés que par un courant puissant, et en général roulent au fond du lit avec une vitesse inférieure à celle du courant.

Les limons seront au contraire les matières broyées au point de n'avoir plus ni forme ni volume sensibles, qui sont susceptibles d'être délayées dans l'eau et de faire en quelque sorte corps avec elle, qui restent en suspension dans un courant très-faible, dont elles partagent la vitesse d'écoulement.

Nous retrouvons ici les deux grandes classes de matières de transport, l'alluvion limoneuse et l'alluvion sablonneuse que nous avions déjà distinguées dans notre premier chapitre (VIII), comme éléments essentiels de la constitution des terres végétales. Envisagées quant à l'ensemble de leurs

propriétés physiques, elles présentent des caractères nettement déterminés qui, non-seulement les séparent l'une de l'autre, mais différencient leur mode d'action, et se retrouvent dans les formations nouvelles, auxquelles elles peuvent donner naissance, tant au point de vue géologique qu'au point de vue agricole.

Les formations arénacées se distinguent par l'indépendance absolue de leurs molécules, qui peuvent librement glisser, sans exercer l'une sur l'autre la moindre action d'adhérence. Leur équilibre, en cas de dépôt, ne peut résulter que de l'orientation même de ces particules, qui, douées de formes définies, plus résistantes sur certaines faces, s'enchevêtrent et s'imbriquent les unes sous les autres, de manière à présenter une résistance considérable dans le sens du courant. Tant qu'il agit suivant la même direction, ce courant glisse à leur surface sans les entraîner, comme l'eau des pluies sur les tuiles d'un toit. Cette résistance dans un sens unique n'est d'ailleurs que superficielle et sensiblement horizontale.

Par suite du défaut absolu d'adhérence de leurs éléments, les dépôts arénacés cèdent très-aisément à la moindre action latérale, s'affouillent et s'éboulent sous des talus peu inclinés.

De telles alluvions, en dépit de leur mobilité réelle dans toutes les directions, hors une seule, peuvent comporter une pente très-prononcée de la vallée, et résister horizontalement à une grande vitesse du courant; mais elles doivent toujours présenter des berges latérales sensiblement planes, se prolongeant par des rives basses légèrement inclinées vers le thalweg. Le lit, large, peu profond, souvent mobile, est tapissé des matières les plus lourdes et les plus résistantes, de graviers, de cailloux, de blocs de rocher, suivant la pente plus ou moins torrentielle des cours d'eau.

L'orientation ne joue, au contraire, aucun rôle dans l'équilibre des formations limoneuses. Cet équilibre n'est dû qu'à l'action d'adhérence que les particules exercent l'une sur l'autre, action d'autant plus énergique que les molécules en contact supportent une plus forte pression; d'où résultent naturellement une résistance nulle à l'action du courant sur la surface horizontale du fond, une résistance très-grande au contraire sur les parois latérales dont chaque particule est soumise à la pression des couches supérieures. C'est ainsi que, dans toutes les formations limoneuses qui se retrouvent surtout à l'embouchure des rivières, on remarque des profondeurs d'autant plus grandes dans le courant, des talus d'autant plus raides sur les berges, que l'adhérence est plus prononcée, l'état limoneux plus caractérisé. Telles sont, à la limite, les berges presque perpendiculaires, parfois en surplomb, qui constituent les bords de la Charente et de toutes les rivières coulant dans des sols vaseux et tourbeux. Les matières organiques qui se trouvent dans la vase et la tourbe ont en effet la propriété de développer à un plus haut degré cette action d'adhérence.

Faute d'avoir réellement entrevu cette différence existant entre la résistance du fond et celle des berges, la plupart des auteurs qui ont traité cette question nous paraissent avoir commis une erreur, en admettant une dépendance absolue entre la vitesse du courant et la résistance du sol de la vallée, sans tenir compte de sa pente longitudinale, dont l'influence est cependant prédominante.

Dans le *Cours de construction* de Sganzin, nous trouvons un tableau emprunté à des ingénieurs Français et Anglais, qui donne les vitesses respectives par lesquelles le lit d'un cours d'eau serait attaqué suivant la composition minérale

du sol, depuis les vases ou boues fluides qui seraient entraînées par un courant de 0m,076 à la seconde, jusqu'aux roches dures, qui résisteraient à des vitesses de 3m,05.

Nous ignorons sur quelle série d'observations reposent ces résultats d'expérience, reproduits dans tous les ouvrages d'hydraulique. Ils ne peuvent évidemment s'appliquer qu'à la résistance d'une surface plane, à celle du fond du lit, et non à celle des berges, qui s'accroît au lieu de diminuer, à mesure que les matières qui les constituent sont plus ténues, plus vaseuses.

S'il en était autrement, la vitesse d'écoulement des eaux courantes devrait aller continuellement en diminuant, depuis leur point de départ dans la région des montagnes jusqu'aux plages voisines de la mer. Un lit vaseux ou tourbeux, analogue à ceux qui se trouvent à l'embouchure de la plupart de nos rivières, ne saurait comporter une vitesse de plus de 0m,08 à 0m,10 sans être constamment bouleversé par le courant. Or, l'expérience nous prouve chaque jour qu'il n'en est pas ainsi. Les lits vaseux et tourbeux sont précisément les plus stables, les plus invariables, et nous voyons cependant la vitesse du courant y acquérir, soit en temps de crue, soit dans les alternatives du flot et du jusant près de la mer, des vitesses considérables, le plus souvent très-supérieures à celles qu'on retrouve dans les hautes régions de la vallée à sous-sol arénacé. Il importe peu, en effet, que la pente superficielle, qui n'est qu'un élément de la vitesse, soit très-faible dans les régions inférieures de la vallée ; le courant regagne en profondeur ce qu'il perd en inclinaison.

L'élément essentiel, dont on omet ordinairement de tenir compte dans les relations existant entre la vitesse et la nature des rives, est l'inclinaison longitudinale de la vallée,

qui n'a aucun rapport obligé avec la vitesse du courant principal, mais qui en a un nécessaire avec la vitesse des eaux débordées hors du lit normal, en temps de crue.

Si les eaux déversées se répandent dans une vallée à grande pente, relativement étroite, leur vitesse est nécessairement considérable ; elles entraînent dès-lors les limons et ne peuvent laisser déposer que les sables. Les formations arénacées, avec les caractères que nous leur avons assignés, peuvent seules se produire et persister dans de telles conditions. (*Pl.* II, *fig.* 3.)

Dans les parties basses des vallées, au contraire, près des embouchures, où l'inclinaison descend au minimum, les eaux débordées se répandant en larges nappes sur un terrain presque horizontal, ne peuvent prendre qu'une très-faible vitesse, et laissent déposer les limons dont elles sont chargées en couches successives. (*Pl.* II *fig.* 4.)

Les rives s'exhaussent ; le lit s'encaisse entre des berges douées d'une grande résistance latérale, tandis que le plafond, éminemment affouillable, s'approfondirait de plus en plus, s'il n'était partiellement protégé par la couche des matières arénacées que le courant charrie toujours en plus ou moins grande abondance.

XXIV.

Les matières entraînées, tour à tour déposées et reprises, incessamment remaniées par le courant dans la durée totale du trajet, du point de départ à l'embouchure, subissent des transformations successives dont le résultat final et assez prompt est d'amener à l'état de limon toutes les substances minérales, sauf les roches dures, en général quartzeuses. Des trois grands éléments constitutifs des terrains sédimentaires,

le quartz est le seul qui conserve l'état arénacé et continue à rouler sur le fond du lit ; les deux autres, le calcaire et l'argile, atteignant le dernier degré de trituration, sont au contraire maintenus en suspension dans le courant, et rejetés sur les rives pendant les débordements.

Telles sont les conclusions essentielles que nous avons cru pouvoir déduire d'un grand nombre de faits d'observation, dont chacun pourra constater l'exactitude en rappelant ses propres souvenirs.

Il résulte, en premier lieu, des caractères propres que nous avons assignés aux arènes et aux limons, que ces derniers, en dehors de causes accidentelles, ne sauraient jamais se précipiter dans le lit principal du courant qui les entraîne. Dénués de toute résistance superficielle, maintenus en état de suspension par le moindre courant, ils ne peuvent se séparer ou persister à l'état de dépôt qu'en vertu de leur propre adhérence ou d'une action étrangère, telle que celle de la végétation. Mais l'adhérence limoneuse ne se manifeste que sous l'influence d'une forte pression ; elle ne peut donc produire son effet que sur les surfaces fortement inclinées des berges latérales, qui sont soumises à la charge des couches supérieures, et qui sont en même temps les seules parties du lit où la végétation puisse se développer.

Les atterrissements limoneux ne doivent donc se produire dans le lit principal d'une rivière que latéralement, par un rechargement graduel et un envahissement continu des berges ; des atterrissements sablonneux seuls peuvent se former dans le fond même du lit.

Cette déduction rationnelle est complètement confirmée par l'observation. Des dragages faits sur une rivière quelconque, sur la Garonne aussi bien que sur la Loire ou le

Rhône, n'amènent jamais que des sables à peu près exempts de tout mélange vaseux.

Les eaux troubles de la Durance introduites dans le canal de Marseille, dont la section est régulière, laissent déposer les graviers et les sables qu'elles charrient, dans l'étendue du premier kilomètre. Les limons restent en suspension et ne produisent aucun dépôt dans tout le parcours, tant sur le fond que sur les parois muraillées du canal. Les seuls atterrissements qu'on y remarque se produisent sous la forme de deux bourrelets limoneux, reliés par la végétation des plantes qui se développent dans les interstices des perrés sur les surfaces tour à tour découvertes et mouillées, suivant les variations du niveau des eaux. (*Pl.* III. *fig.* 5.)

Le volume des fragments arénacés qui, par leur superposition, peuvent offrir une résistance suffisante à l'action horizontale du courant, varie seul avec la vitesse du courant principal.

Si cette vitesse est faible, dépasse rarement 1m,50 par seconde, comme aux embouchures du Rhône et de l'Hérault, on ne trouve dans le fond du lit que des sables plus ou moins fins.

Si la vitesse est plus considérable, se maintient entre 1m,50 et 3m,00, les sables fins sont à leur tour emportés comme les limons. Il n'en existe presque plus de trace, et la surface du fond est composée de galets plus ou moins gros imbriqués les uns sous les autres. Tels sont, par exemple, les bancs de graviers qui découvrent à l'étiage du Rhône en amont d'Avignon, formés de cailloux ovoïdes orientés suivant leur longueur, offrant au courant, par suite de leur solidarité, une résistance que présenterait à peine au même degré un seuil de roches dures.

Si la vitesse dépasse 3m,00 par seconde, s'il s'agit de rivières torrentielles comme les gaves des Pyrénées, leur fond se pave de gros blocs enchevêtrés, formant autant de gradins partiels qui amortissent le courant, à la surface desquels les galets, pas plus que les sables ou les limons, ne sauraient s'arrêter.

Telle est, suivant la vitesse, dépendant elle-même du débit habituel du cours d'eau, la nature des matières qui composent le fond du lit dans lequel se maintient le courant principal. La constitution géologique des berges et des rives submersibles ne dépend pas seulement de la vitesse de ce courant principal, mais de celle des eaux débordées, et par suite de l'inclinaison générale de la vallée[1]. Sur certains points du Rhône, par exemple, où la grande vitesse de l'écoulement central résulte plus encore de la masse des eaux que de leur pente, on voit de larges plaines latérales submersibles, composées de limons et de sables très-fins, coexister avec des vitesses du courant principal qui com-

[1] Il est d'ailleurs bien entendu que nous ne parlons que des cours d'eau torrentiels sujets à des débordements, ayant assis leur lit sur leurs propres dépôts. Les mêmes relations entre les divers éléments du régime n'existent plus naturellement pour les rivières qui ne roulent que des eaux claires, dont le débit régularisé par des sources, des lacs ou des glaciers, est sujet à de faibles variations; qui auraient été endiguées de main d'homme, ou qui auraient creusé leur lit en déblai dans des formations indépendantes. Les rivières qui sortent des lacs de la Suisse maintiennent leurs eaux limpides dans des lits relativement profonds, encaissés dans des terrains de galets Les plaines latérales, rarement atteintes par les submersions, conservent leur sol limoneux en dépit de la grande pente des vallées. En amont des lacs, au contraire, les cours d'eau alimentaires chargés de troubles et sujets à de plus fréquentes variations de niveau, ont un régime torrentiel en rapport avec la nature géologique des alluvions latérales qu'elles ont formées.

porteraient à peine des rives de gros galets dans les vallées torrentielles des montagnes.

Si nous revenons au lit principal, et que nous examinions la nature des sables qui en constituent le fond, à une certaine distance du point où de nouveaux apports minéraux peuvent en renouveler les matériaux, nous voyons que ces sables sont presque exclusivement quartzeux.

L'observation la plus concluante que nous puissions rappeler à l'appui de ce principe est celle de l'Hérault. Cette rivière prend sa source dans des terrains granitiques, et peu après atteint de puissantes formations calcaires qu'elle coupe sur plus de 60 kilomètres, roulant à travers des défilés profonds, escarpés, dans lesquels les ravins projettent incessamment des quantités considérables de galets appartenant aux formations les plus dures de l'époque jurassique. Ces débris, toujours renouvelés, constituent de larges grèves à la sortie des gorges de la rivière, lorsqu'elle débouche dans un lit encaissé dans les marnes tertiaires. Ces amas énormes de cailloux roulés, tous calcaires, se prolongent sur plusieurs kilomètres, mais diminuent de volume et de poids avec une telle rapidité que, bien avant l'embouchure, distante de 35 à 40 kilomètres environ, toute trace de calcaire a disparu dans les sables de fond, qui sont exclusivement siliceux.

Le calcaire, de même que l'argile, se retrouve dans les alluvions vaseuses qui encaissent la rivière près de son embouchure, et lui donnent une profondeur relativement considérable, car les navires de commerce pénètrent bien plus aisément dans l'Hérault que dans le Rhône.

De ce fait, nous croyons pouvoir conclure qu'un fragment calcaire, si gros et si dur qu'il soit, ne peut parcourir, sans être complètement broyé, transformé en boue, en vase

fluide, un espace de plus de 40 kilomètres dans le lit d'une rivière.

Cette conclusion, nous ne l'ignorons pas, a été vivement contestée; elle n'en est pas moins une conséquence forcée du fait, en même temps qu'une déduction naturelle de la théorie.

Le frottement de l'eau, en lui-même, n'a probablement qu'une action très-faible sur la trituration des matières minérales entraînées par les courants. C'est à l'action réciproque de ces débris qu'on doit attribuer leur désagrégation, et dès-lors on est bien forcé d'admettre que la matière la plus dure, la plus résistante, le quartz, devra détruire toutes les autres, sans être elle-même sensiblement altérée.

Dans une application industrielle récente, qui n'a pas encore pris tous les développements dont elle est susceptible, on a songé à utiliser certains diamants pour perforer les roches dures. Des expériences faites ont prouvé que l'usure de la pointe de diamant était insignifiante après un travail prolongé.

Nous voyons tous les jours les burins d'acier mordre sur le fer et la fonte, sans être émoussés.

Un fait analogue se passe dans la grande préparation mécanique que subissent les matières charriées par les courants d'eau. Le quartz, l'une des trois composantes des terrains sédimentaires, joue vis-à-vis des deux autres, l'argile et le calcaire, ou de leurs dérivés, un rôle analogue à celui du diamant ou de l'acier, dans les circonstances que nous venons de rappeler.

Il désagrège à la longue tous les fragments des roches diverses avec lesquelles il est entraîné. Il les transforme en limons, en vases fluides; tandis que lui-même, brisé par le choc, mais non broyé, conserve toujours en partie

jusque dans ses moindres fragments les arêtes vives, les faces de cassure fraîche qui caractérisent les grains de sables dont nous signalions la présence dans le lit de l'Hérault. Cette inaltérabilité du quartz n'est d'ailleurs que relative; il serait lui-même très-certainement broyé à son tour, converti en limons, s'il se trouvait mélangé à une proportion suffisante de matières minérales plus dures.

XXV.

Les vitesses et les pentes des divers cours d'eau sont essentiellement variables suivant la constitution géologique et topographique des contrées parcourues. Mais, en dehors de circonstances locales dépendant de la forme originelle des vallées et de la résistance naturelle de leurs cuvettes, il est des lois générales qui régissent les conditions d'écoulement en temps de crue et d'étiage pour un même profil, et qui président à la répartition relative des débris minéraux charriés par les crues.

Ces lois, peu connues jusqu'ici, ont une très-grande importance, car elles ne s'appliquent pas seulement aux divers états d'un même cours d'eau dans les périodes extrêmes de crue et d'étiage, mais aux états relatifs des courants modernes et des courants diluviens qui se sont succédé dans une même vallée. Elles nous paraissent dès-lors mériter d'être exposées avec quelques développements.

La première, que nous désignerons sous le nom *de loi d'inversion des profils*, peut s'énoncer ainsi d'une manière générale : *Dans une même vallée servant successivement de lit à deux courants d'intensité très-différente, le courant majeur a ses pentes longitudinales de surface inverses de celles du courant mineur.*

S'il s'agit, par exemple, d'une rivière considérée dans ses deux états extrêmes de débit, les surfaces des eaux en crue et en étiage ne sont pas parallèles, comme on a été parfois porté à l'admettre; elles sont inverses : aux plus grandes pentes superficielles du courant de crue correspondent les plus faibles inclinaisons d'étiage, et réciproquement.

Il est facile de comprendre pourquoi il en est ainsi. Supposons, en effet, une vallée de largeur inégale, présentant au niveau des grandes crues une succession de gorges étroites et de vallons élargis. A chaque rétrécissement des parois latérales inattaquables correspondra nécessairement, en temps de crue, une accélération de vitesse avec accroissement de pente longitudinale, et par suite un approfondissement du plafond nettoyé jusqu'au vif, sans qu'il se produise de dépôts dans le chenal ainsi recreusé.

A chaque élargissement compris entre deux étranglements successifs, les eaux retenues par le remous de l'étranglement inférieur s'amoncelleront comme dans un lac intermédiaire. Elles y perdront une partie de leur vitesse en même temps que de leur pente longitudinale, et laisseront précipiter, par suite, une partie des débris qu'elles tenaient en suspension.

Lorsque le courant de crue se retire, on trouve, comme résultat final, des gouffres profondément affouillés dans les parties étroites du chenal, des amas de dépôt et des bancs de graviers formant barrage dans les parties larges.

Le régime d'étiage venant à s'établir dans ces conditions, avec un débit très-réduit, il est bien évident que les eaux ne prendront qu'une faible pente dans les parties affouillées du chenal; qu'elles se répandront au contraire en nappes moins profondes, nécessitant par suite une vitesse et une pente plus grandes, sur les dépôts émergés des parties larges.

La seconde loi complète la précédente; nous l'appellerons, par analogie, *loi d'inversion des plans*. Son énoncé est le suivant :

Lorsque deux courants d'intensité très-différente quant à leur débit parcourent successivement la cuvette élargie d'une vallée comprise entre deux étranglements successifs, le courant principal suit la ligne de moindre développement entre les orifices des deux étranglements; le courant secondaire qui lui succède suit au contraire le pourtour extérieur de la cuvette.

Remontons en effet aux conditions d'écoulement d'une crue à la traversée d'une cuvette élargie, comprise entre deux étranglements. Les eaux retenues par le remous de l'étranglement inférieur submergent, par hypothèse, toute la cuvette à une assez grande hauteur. S'échappant en vertu de la vitesse acquise de l'étranglement d'amont, elles atteignent celui d'aval par la voie la plus courte, à travers la nappe générale d'inondation. Cette voie la plus courte est la ligne droite, si aucun obstacle ne se trouve sur son tracé; la courbe intérieure du développement, si la cuvette est arquée. (*Pl.* II, *fig.* 6 et 7.)

Quelle que soit d'ailleurs la vitesse de ce courant à la traversée du bassin submergé, elle est toujours inférieure à celle qu'avaient les eaux à la sortie de l'étranglement supérieur. Il se produit donc des dépôts, ainsi que nous l'a déjà appris la loi d'inversion des profils; mais ces dépôts sont loin de se répandre uniformément en couches horizontales sur toute la surface du bassin. Une partie est entraînée à son extrémité inférieure, au point où le remous de l'étranglement d'aval a le plus de hauteur ; le reste s'oriente en bandes longitudinales parallèles à la direction du courant majeur. Le lit se trouve ainsi exhaussé, et surtout encaissé

entre deux traînées plus ou moins larges de sédiments, dont les talus se prolongent dans la zone des eaux, relativement tranquilles, existant au dehors de la ligne d'action du courant principal.

La courbe de plus grand développement du bassin est occupée par les eaux animées de la moindre vitesse, qui ne se renouvellent que lentement et qui, dépouillées de leurs sédiments dans la zone intermédiaire, ne peuvent occasionner de dépôts sensibles.

Les conditions sont toutes différentes lorsque la crue vient à se retirer. La masse très-amoindrie des eaux, trouvant une section relativement large et profonde dans les étranglements affouillés, n'y conserve qu'une vitesse, et par suite une pente longitudinale beaucoup moindres. Les atterrissements des bassins, au contraire, se rapprochent de la surface de l'eau, émergent parfois, divisant le courant en deux bras différents. Les eaux n'ayant plus qu'une faible profondeur sur l'emplacement du courant de la crue, barré à son extrémité inférieure, se rejettent et se concentrent dans la dépression latérale correspondant aux eaux dormantes d'inondation. Elles y acquièrent bientôt une impulsion suffisante pour former chasse, et débarrasser ce canal secondaire des dépôts qui l'obstruent à l'aval, en les entraînant dans le gouffre affouillé du lit unique qui les suit.

Comme conséquence de ces explications, trop simples pour qu'on puisse en discuter le principe, on peut déduire les règles générales ci-après :

1° Un lit de rivière qui s'élargit entre deux étranglements successifs de sa vallée, se divise en général en deux bras : le bras de crue et le bras d'étiage, séparés par un haut-fond plus ou moins caractérisé, qui, suivant les circonstances, est une île stable ou un simple banc de graviers;

2° Le lit de crue suit toujours la courbe de moindre développement, est ouvert à l'amont et fermé à l'aval. Il ne peut être suivi par la navigation en temps de basses eaux, mais a été de préférence choisi pour l'emplacement des usines, par suite des facilités que leurs propriétaires ont dû trouver à compléter le barrage d'aval, déjà à demi formé;

3° Le lit des basses eaux, au contraire, suit la courbe de plus grand développement; il est fermé à l'amont, ouvert à l'aval. Il ne met en jeu aucune usine, mais sert exclusivement à la navigation en temps d'étiage.

Nous n'avons pas besoin de citer des exemples particuliers, que peu de personnes auraient sous les yeux, à l'appui de ces lois, conséquences logiques de notre théorie. Il nous suffira de dire qu'elles ne sont autre chose que l'énoncé sommaire de règles empiriques qui nous ont été données, comme déduites d'une longue pratique et d'une observation assidue, par M. l'ingénieur en chef Andral. Une telle autorité est la meilleure consécration que nous puissions donner à nos principes.

En cherchant à mettre en lumière ces lois, si simples bien que peu connues, nous sommes heureux de pouvoir en restituer le mérite à l'éminent ingénieur qui les a découvertes. Chacun pourra d'ailleurs en vérifier l'exactitude, non-seulement sur le lit d'une rivière importante, mais plus aisément encore sur celui du moindre ruisseau, en suivant avec quelque attention l'écoulement d'un mince filet d'eau dans le lit d'un torrent, le fossé d'une route ou la rigole d'arrosage d'un jardin.

XXVI.

Les lois générales d'inversion des profils et des plans réglant les rapports relatifs de deux courants d'intensité

très-différente, qui, à des intervalles plus ou moins éloignés, parcourent une même vallée, doivent être considérées comme des lois géologiques dont les effets peuvent être influencés par la constitution minéralogique des terrains traversés ou des troubles entraînés.

Toute autre est la loi purement physique signalée dans ces derniers temps, qui régit l'action perturbatrice que le mouvement de rotation de la terre doit exercer sur la direction des eaux courantes.

Nous savons que la terre tourne autour de son axe, dans la direction de l'ouest à l'est, en 24 heures. La vitesse de rotation est naturellement variable en chaque point d'un même méridien. Elle décroît proportionnellement au cosinus de la latitude, depuis l'équateur, où elle est égale à 465 mètres par seconde, jusqu'au pôle, où elle est nulle.

Si nous considérons un courant d'eau dirigé, pour simplifier les idées, suivant le méridien, dans le sens de l'équateur au pôle nord, chaque molécule liquide, en passant d'un parallèle au suivant, conservera un excès de vitesse de rotation qui se traduira par une composante latérale dirigée dans le sens du mouvement, soit vers l'est ou la rive droite du cours d'eau.

Si, les autres conditions restant les mêmes, le courant était simplement renversé dans le sens du pôle nord à l'équateur, la vitesse acquise serait inférieure à la vitesse de rotation des parallèles successifs; il en résulterait une action retardatrice, se traduisant par une composante latérale en sens inverse du mouvement de la terre vers l'ouest, et toujours par suite contre la rive droite.

Le résultat serait le même, sauf l'intensité réduite de l'action latérale, si le courant, au lieu d'être dirigé suivant le méridien, lui était plus ou moins oblique.

En thèse générale, la loi des effets de rotation de la terre peut s'énoncer en disant que tous les fleuves de l'hémisphère boréal doivent tendre à ronger leur rive droite, ceux de l'hémisphère austral leur rive gauche. Cette action érosive doit être d'autant plus grande sur un même parallèle, que la direction du courant se rapproche davantage de celle du méridien ; elle est nulle pour les courants qui sont parallèles à l'équateur.

A inclinaison égale sur le méridien, la composante érosive est en chaque point proportionnelle à la différentielle de la vitesse de rotation, ou au sinus de la latitude. Elle est par conséquent nulle à l'équateur, et atteint son maximum au pôle.

Il est aisé de calculer pour chaque point la valeur relative de la déviation produite en fonction de l'espace parcouru ou de la vitesse propre du courant. En prenant pour unité de distance l'espacement d'un degré de latitude, soit une longueur de 111,111 mètres, cette déviation est égale à $8^m,11$ au pôle, où elle atteint son maximum. Elle se réduit à $5^m,70$ pour la latitude de 45°.

L'action perturbatrice du mouvement de rotation de la terre tend donc, dans la zone tempérée, à dévier latéralement de 1/20000 environ du déplacement longitudinal les courants d'eau qui suivent le méridien. Cette fraction représente également la composante transversale de la vitesse en fonction de sa valeur totale.

Cette action est, comme on le voit, très-petite ; on peut se demander si ses effets doivent être appréciables. On a cru pouvoir les constater d'une manière générale sur la plupart des grands fleuves de la Russie et de la Sibérie. Par l'immense étendue de leurs territoires, l'homogénéité de leurs formations géologiques, l'importance de leurs

cours d'eau, leur plus grand voisinage du pôle, ces contrées sont en effet celles qui réunissent le plus de conditions favorables pour faire ressortir nettement l'influence du mouvement de rotation de la terre sur le déplacement des eaux courantes.

Parmi nos fleuves de France, il n'est guère que la Garonne sur laquelle on ait signalé des effets d'érosion qui se rapprocheraient des indications de la théorie. Nos observations personnelles nous ont fait reconnaître la même concordance sur la plupart des affluents parallèles à la Garonne qui, du plateau de Lannemezan, descendent dans le Gers. Par contre, sur les principaux cours d'eau du midi, sur le Rhône aussi bien que sur les rivières qui descendent directement dans la Méditerranée, le sens de l'érosion est trop variable pour qu'on puisse conclure pour ou contre l'application de la loi.

Bien qu'elle puisse être masquée par une influence prédominante, l'action perturbatrice résultant du mouvement de rotation de la terre n'en est pas moins certaine et positive; elle ne s'exerce pas seulement sur les eaux courantes[1],

[1] Cette action a servi à expliquer le phénomène des vents alizés et celui des courants marins (x); elle doit exercer une influence analogue sur le mouvement des trains de chemin de fer. On peut se demander si elle ne serait pas pour quelque chose dans les causes des déraillements; si, dans tous les cas, elle ne fixerait pas une limite de vitesse qu'il ne serait pas prudent de dépasser. Il est aisé de déterminer cette limite. Si l'on appelle, en effet, M la masse d'un wagon en mouvement dans le sens du méridien, V sa vitesse par seconde, v la composante latérale qui pourrait produire, non le déraillement, mais le renversement du convoi, Mv représentera la force qui tend à renverser le wagon autour du rail de droite, Mg la pesanteur qui tend à le maintenir en place. Ces deux forces sont toutes deux appliquées au centre de gravité du wagon, et, pour qu'elles soient en équilibre, il faut que leurs moments, par rapport aux rails, soient égaux. Le bras de levier

mais sur tous les mobiles qui se déplacent à la surface du globe.

XXVII.

Les premières données que nous venons d'exposer sur la nature physique des déjections fluviales, sur les conditions dans lesquelles s'opèrent leur entraînement et leur dépôt, nous permettent d'aborder l'étude sommaire des formations auxquelles elles ont donné naissance, et qui se continuent de nos jours.

Nous avons déjà parlé des phénomènes d'érosion qui se produisent dans les régions élevées des montagnes, alimentant les sources de nos rivières, parfois même dans les plis inférieurs des contreforts étagés sur le flanc des sommets

de la pesanteur est égal au demi-écartement de la voie, soit à $0^m,70$; le bras de levier de la vitesse latérale, égal à la hauteur variable du centre de gravité au-dessus de la voie, peut être considéré comme sensiblement égal à l'écartement de la voie, soit double du précédent.

Supprimant la masse facteur commun, nous avons pour condition d'équilibre $2v = g$, d'où, en remplaçant v par $\frac{V}{20,000}$, on déduit $v =$ 96,800 mètres.

Pour amener le renversement, le wagon devrait parcourir $96,800^m$, soit presque un degré de latitude en une seconde, vitesse énorme, vingt fois supérieure à la vitesse de rotation sur l'équateur. Si grande que puisse devenir la vitesse des trains de chemins de fer à la surface du globe, il n'est pas à croire qu'elle puisse jamais être influencée d'une manière sensible par la vitesse de rotation de la terre. Bien que les mobiles ne soient pas de tout point comparables, on conçoit aisément qu'une action perturbatrice aussi faible ne puisse avoir d'effets bien marqués sur les eaux courantes, ou que du moins ces effets soient le plus souvent masqués par les circonstances locales. C'est dans l'interprétation des deux grandes lois géologiques précédemment exposées, qu'on devra surtout chercher l'influence prédominante qui règle en chaque point la tendance à l'érosion et la formation des dépôts dans le lit des fleuves.

culminants. Nous n'avons plus à revenir, pour le moment, sur ces ravins, trop escarpés pour qu'aucune alluvion puisse s'arrêter sur leurs rives, dans le lit desquels l'action érosive se continue seule, sans que rien vienne en compenser les pertes. Mais en dehors de cette région des torrents supérieurs, que nous appellerons zone d'érosion, les rives des cours d'eau ont fini par atteindre une sorte d'équilibre relatif, quant à l'effet final du double phénomène d'érosion et de dépôt auquel elles restent également soumises. Tout courant exerce, en effet, une action érosive purement mécanique qui se fait sentir sur tous les points de son lit. Chaque rivière a donc une tendance à corroder ses rives et son fond, et son lit s'approfondirait ou s'élargirait indéfiniment, si des dépôts provenant des régions supérieures ne venaient remplacer à mesure les matières minérales enlevées.

Si la masse des eaux, le volume et la nature des alluvions pouvaient rester constants et uniformes sur une certaine étendue de la vallée, on conçoit qu'entre ces quantités il s'établirait un équilibre parfait, les alluvions se déposant ou se déplaçant jusqu'à ce que le lit ait acquis une section telle que la vitesse du courant soit précisément suffisante pour maintenir en état de suspension ou de transport les limons et les sables enlevés à la zone d'érosion.

Il va sans dire que cette hypothèse d'une permanence constante de débit et de régime ne se réalise jamais; mais, suivant les circonstances, on s'en rapproche plus ou moins. C'est à ce point de vue, d'une moyenne seulement, qu'on peut dire qu'il y a équilibre dans le régime d'un cours d'eau. En même temps qu'il dépose sur certains points une partie des matières provenant des régions supérieures, il entraîne des dépôts précédemment fixés sur un

point voisin, détruisant les anciennes formations pour en constituer de nouvelles. Incessamment remaniés, de plus en plus broyés, les matériaux des rives atteignent ainsi l'embouchure de station en station, se rapprochant de plus en plus de l'état final, les limons argileux ou calcaires et les sables quartzeux.

On pourrait sans doute contester, en fait, l'existence de cet état d'équilibre périodique dans le régime moyen des fleuves. Bien des causes accidentelles peuvent en effet le détruire pour une période plus ou moins longue, faire prédominer, suivant les circonstances, l'action de déblai ou celle de remblai ; mais si les causes naturelles agissaient seules et restaient périodiquement les mêmes, il est bien évident que l'équilibre s'établirait sur la majeure partie du parcours de la vallée, sur toute la région que nous appellerons *zone de compensation*, comprise entre celle des sources ou *d'érosion*, et celle des embouchures, à laquelle nous donnerons le nom de *zone de dépôt*.

XXVIII.

Il nous reste à parler de cette dernière zone, dans laquelle s'opère la précipitation finale de tous les troubles charriés par les courants.

Arrivé à ce point de nos études, nous ne saurions plus, comme nous l'avons fait jusqu'ici, isoler entièrement les phénomènes actuels de ceux qui les ont précédés. Obligé de revenir aux origines de la période géologique moderne, nous nous abstiendrons cependant de tout détail inutile. Nous nous bornerons pour le moment à rappeler, comme un fait, ce que nous avons déjà dit (IX) de la nécessité d'admettre certains courants accidentels qui, à diverses épo-

ques, ont parcouru la surface de notre planète avec des débits et une intensité d'action dont les courants actuels ne peuvent nous donner qu'une idée fort affaiblie.

Les torrents diluviens concentrant leurs eaux dans les dépressions naturelles du sol, dans le thalweg des vallées, en ont profondément labouré et creusé les rives et le plafond. Les cuvettes élargies de ces vallées ont formé les moules dans lesquels, sous l'action des forces lentes et persistantes qui se continuent sous nos yeux, les fleuves et les rivières de l'époque actuelle ont façonné leur lit définitif.

L'action érosive des courants diluviens s'est prolongée jusqu'à la rencontre des mers tranquilles, dans lesquelles ils ont déversé leurs eaux. Ils ont déterminé bien au-dessous du niveau habituel de ces mers, l'ouverture d'un chenal large et profond, d'un estuaire dans lequel ont commencé à se déposer les troubles charriés par les courants modernes.

Nous étudierons plus tard (chap. VII) tout ce qui se rattache à l'histoire générale des torrents diluviens. Nous ne les considérerons aujourd'hui que dans leur zone inférieure, leur estuaire, dont le comblement a commencé à se produire dès l'origine de la période actuelle.

Aux forces que nous avons déjà vues en jeu dans les régions supérieures des vallées, vient, à leur embouchure, s'en adjoindre une nouvelle, l'action de la mer, qui, pendant la période de transition immédiatement postérieure au diluvium, a eu une influence marquée, dont les effets se poursuivent journellement.

Si le chenal creusé par le courant diluvien s'était régulièrement prolongé dans une mer tranquille, ne pouvant avoir d'autre effet que d'atténuer et d'éteindre la vitesse du courant moderne, tous les troubles charriés par ce dernier

auraient dû se déposer dans l'estuaire. Le lit diluvien, beaucoup trop large pour le débit réel du cours d'eau actuel, se serait atterri et façonné suivant les besoins de sa nouvelle destination. Il aurait subi sur une plus grande échelle la transformation qui se produit aujourd'hui, par exemple, lorsque, un bras du Rhône venant à se barrer brusquement, son lit de fleuve devient en peu d'années une simple rigole d'écoulement des eaux pluviales.

L'estuaire dans ces circonstances aurait dû se combler en tout ou en partie pendant la période de transition ; et ces premiers dépôts, encaissant le nouveau lit, incessamment rechargés plus tard d'alluvions nouvelles, se seraient avancés dans la mer, dessinant une formation géologique nouvelle, dont le cube se serait annuellement accru d'une quantité sensiblement égale au volume des érosions produites dans la zone supérieure.

Nous savons, par l'observation directe des faits, que les choses ne se sont pas toujours passées ainsi. Il suffit de jeter les yeux sur une carte de géographie, de comparer entre elles les formes diverses des embouchures des fleuves et rivières, pour les distinguer tout de suite en deux grandes catégories.

Dans l'une, l'estuaire a pour ainsi dire conservé toute sa largeur première, à partir du point où se fait ressentir l'action de l'Océan. Il s'étend comme une baie profonde, analogue à celles qui caractérisent les embouchures de la Garonne, de la Loire, de la Seine, de la Tamise, du Tage, etc.

L'autre forme d'embouchure est celle du delta, dont le Nil nous offre le principal type historique, et que nous retrouvons sur le Pô, le Rhône, le Danube, le Mississipi, le Gange, etc.

On n'a jamais, que nous sachions, donné une explication complète et suffisante de cette différence dans la forme des embouchures. Elle nous paraît résulter d'un petit nombre de causes très-simples, dont la principale serait l'action de la marée.

Dans une mer sans marée ni courants d'aucune sorte, le dépôt des troubles étant instantané au contact des eaux tranquilles, tout transport de sédiment produirait un delta. Dans une mer sujette à la marée, au contraire, l'alternative des flots refoulant les eaux de la mer dans l'estuaire et leur restituant ensuite un rapide écoulement en très-grande masse, rétablirait, pendant la période du jusant, les conditions du courant diluvien primitif. Les sédiments sablonneux charriés par le fleuve sauraient en effet d'autant moins s'arrêter dans l'estuaire, qu'ils ne pourraient s'orienter et s'imbriquer dans le sens de la plus grande résistance de leurs molécules. Tour à tour déposés et remaniés par les courants opposés de flux et de reflux, ils seraient finalement entraînés vers la haute mer, et rejetés à une plus ou moins grande distance de l'estuaire.

Cette action de la mer se trouve d'ailleurs très-nettement indiquée à plusieurs reprises par M. Élie de Beaumont dans son remarquable *Traité de géologie pratique*. Cet illustre géologue lui attribue notamment le maintien de la profondeur du lit de l'Escaut au port d'Anvers. Nul doute qu'il n'eût été amené à généraliser cette idée première, s'il avait continué la publication de son bel ouvrage et enrichi la science du résultat de ses observations sur les estuaires, comme il l'a fait pour les deltas.

Si la première explication que nous venons de donner était suffisante, on pourrait poser, sauf vérification, les deux principes suivants : comblement des estuaires et formation

de deltas plus ou moins saillants dans les mers sans marée; conservation indéfinie des estuaires dans les mers à marée.

Mais cet énoncé trop absolu de la cause principale a besoin d'être modifié et précisé, par suite de certaines causes secondaires dont nous avons à examiner l'influence dans les deux cas.

L'évidence du premier principe ne saurait être mise en doute, lorsque la nappe d'eau qui reçoit l'affluent est entièrement tranquille, ainsi que l'est un petit lac intérieur ou la lagune littorale d'une mer sans marée. Il n'y a, dans ce cas, aucune exception. Tout affluent, si faible qu'il soit, produit un delta qui comble l'estuaire, et s'étend ensuite, en empiétant d'une manière progressive sur le bassin du lac ou de la lagune.

Il peut en être différemment dans une mer plus étendue, telle que la Méditerranée. Le comblement de l'estuaire aura toujours lieu ; mais lorsque les dépôts de sédiment, marchant de l'amont à l'aval, atteindront la mer libre, il pourra se faire qu'ils soient entraînés par les courants littoraux, ou plus exactement, comme nous le verrons tout à l'heure, par le déplacement des grèves résultant du choc incliné des vagues sur le rivage et sur le fond. En tout cas, la marche du delta sera progressive, se continuera toujours vers l'aval à partir du sommet de l'estuaire, et nous pourrons reproduire notre premier principe sous la forme suivante :

Tout affluent qui se jette dans une mer intérieure, sans marée sensible, produit un delta que nous appellerons direct ou de premier genre, qui commence par combler l'estuaire, et peut ensuite s'étendre progressivement vers l'aval en empiétant sur la mer, sauf l'entraînement possible d'une partie des sédiments par l'action des courants littoraux.

Le second principe, concernant la conservation des estuaires dans les mers à marée, est moins évident, et l'on peut *à priori* nous objecter avec raison que plusieurs de nos plus grands fleuves présentent des deltas à leur débouché dans l'Océan.

L'action fondamentale de la marée n'en a pas moins toujours agi dans le principe comme nous l'avons indiqué. Elle tend à rétablir le courant diluvien ; mais il ne suffit pas qu'elle entraîne les sédiments hors de l'estuaire, il faut encore que, refoulés vers la haute mer, à une plus ou moins grande distance du littoral, ces sédiments trouvent assez de fond pour se loger, ou des courants latéraux assez puissants pour les disperser au loin.

Si l'une ou l'autre de ces circonstances ne se produit pas; si, au point où finit l'action du courant de jusant, la puissance d'entraînement de la mer n'est pas suffisante pour évacuer les sédiments à mesure qu'ils arrivent, il se forme nécessairement un dépôt, une barre servant de base à un atterrissement. La conséquence finale peut être le remblai de l'estuaire, mais indirectement, par oblitération. Le comblement ne s'opère pas en marchant de l'amont à l'aval, mais en sens inverse, en remontant à partir de l'aval. Les deltas de cette seconde espèce présentent des caractères tout différents des premiers. Ils constituent un amas, généralement en saillie sur la mer, coupé par un plus ou moins grand nombre de bras larges et profonds, balayés par la marée, véritables estuaires secondaires substitués à l'estuaire primitif.

En examinant la configuration générale des côtes de l'Océan, on reconnaît aisément que les deltas de ce genre se sont reproduits de préférence dans les mers à demi-fermées, dans les golfes, où l'action de la marée est faible, où

les courants littoraux sont forcément très-limités. La conservation des estuaires caractérise au contraire les côtes ouvertes ou en saillie sur la mer, battues par les courants, et soumises à une plus forte action de la marée.

Nous reviendrons sur ce point ; mais en attendant nous pouvons, dès à présent, préciser dans l'énoncé ci-après ce deuxième principe, posé plus haut :

Les affluents qui tombent dans une mer à marée conservent leur estuaire plus ou moins intact, et le conserveront indéfiniment lorsque l'action propre de la mer, au point où aboutit le flot de jusant sortant de cet estuaire, est capable d'opérer la dispersion complète des sédiments. Lorsque cette dernière action est insuffisante, il s'est formé un delta en retour ou de deuxième genre, offrant des caractères particuliers, dont le principal est d'avoir opéré le comblement de l'estuaire par un effet de remous dans le sens de l'aval à l'amont.

Il est bien entendu qu'en posant ces faits généraux, nous n'entendons établir que des types extrêmes pouvant présenter bien des nuances intermédiaires, suivant les circonstances locales.

D'autres causes d'ailleurs peuvent influer sur le genre de formation des deltas et le plus ou moins de profondeur des estuaires. De ce nombre est surtout la proportion relative de sables quartzeux existant dans les sédiments apportés par l'affluent. Si nous nous rappelons ce que nous avons dit (XXIII) de l'origine exclusivement quartzeuse des matières qui se maintiennent à l'état de sables, on voit que l'aspect de la carte géologique d'un bassin doit nous fournir *à priori* une donnée importante sur la largeur et la profondeur relatives de son estuaire.

Un fleuve comme la Loire, qui a la majeure partie de son bassin dans les terrains primitifs, fournissant d'abondantes déjections siliceuses, doit, toutes choses égales d'ailleurs, avoir un estuaire moins large et moins profond que la Gironde, qui reçoit les eaux d'une région où dominent les calcaires et les marnes tertiaires.

XXIX.

Nous manquons malheureusement de documents positifs suffisants pour contrôler avec toute l'exactitude désirable l'application de nos lois générales à tous les fleuves du globe. Nous trouverons toutefois dans l'embouchure des rivières, où le régime des marées est plus particulièrement connu, des données précieuses pour démontrer l'importance de nos principes en même temps que leur certitude.

Nos observations porteront naturellement, en premier lieu, sur la série des rivières de France débouchant dans l'Océan, les seules sur lesquelles nous connaissions, par des chiffres exacts, l'amplitude relative des marées. Nous en avons déduit la valeur moyenne avec une suffisante approximation des tables contenues dans l'*Annuaire* de M. Chazallon pour l'année 1859. Ces résultats, qui ne paraissent pas devoir varier beaucoup d'une année à l'autre, sont indiqués dans le tableau ci-après :

INDICATION des Ports ou Rivières.	AMPLITUDE moyenne de la marée.	FORMATION géologique de la zone d'érosion	CARACTÈRE de l'embouchure.
Boucaut (Adour).....	m 2,00	Chaînes granitiq. des Pyrénées.	Chenal étroit, obstrué par des sables.
Cordouan (Gironde)..	3,60	Terrains secondaires ou tertiaires.	Vaste et large estuaire navigable aux plus grands navires de commerce sur plus de 40 kilom.
Ile d'Aix (Charente)..	3,70	Calcaires marneux.	Estuaire étroit, très-profond, à fond de vase, abordable aux navires de guerre.
Saint-Nazaire (Loire).	3,70	Massifs granitiq. du centre de la France.	Estuaire peu profond, à fond de sable
Brest. } Rivières des côtes de Bretagne et de Normandie	4,40	Terr. granitiques sans torrents.	Embouchures étroites et profondes, nettoyées à vif fond de roc.
St-Malo.	7,20		
Le Hâvre (Seine).....	5,00	Terr. tertiaires.	Estuaire large et profond.
Cayeux (Somme).....	6,90	Idem.	Idem.
Boulogne. } Petites rivières de Picardie.	5,80	Idem.	Chenal du port maintenu par les chasses.
Calais.	4,80	Idem	
Dunkerque...... ...	4,10	Idem.	Idem.

La première rivière inscrite sur ce tableau, l'Adour, est la seule qui, sur nos côtes de l'Océan, n'ait pas de véritable estuaire. C'est en même temps celle où la marée est relativement moindre. Elle ne dépasse pas 2^{m},00 et est inférieure de près de moitié à celle de la Gironde, des deux tiers à celle de la Seine. A cette cause prédominante de l'oblitération de l'estuaire se joignent, sur l'Adour, la nature du bassin géologique qui se ramifie dans les parties les plus élevées des Pyrénées, riches en débris quartzeux, et l'influence des vents régnants qui refoulent vers cette embouchure les sables de la côte de Gascogne.

Au sud de l'Adour, près du port de Socoa, où l'amplitude de la marée se relève à près de $3^m,00$, on trouve un petit estuaire à l'embouchure de la Bidassoa, dont la vallée ne se prolonge que dans les contreforts secondaires des Pyrénées, moins quartzeux que la chaîne principale.

Au nord de l'Adour vient la Gironde, notre plus bel estuaire; la marée moyenne y atteint $3^m,70$. Le bassin géologique est relativement moins siliceux que celui de l'Adour; car, en regard des vallées venant des Pyrénées, nous trouvons les bassins du Tarn, du Lot, du Gers, de la Dordogne, appartenant en grande partie aux terrains secondaires ou tertiaires.

Au-dessus de la Gironde, avec une amplitude de marée à peu près égale, nous rencontrons la Charente. Déjà citée pour la remarquable profondeur de son lit, encaissé dans des vases molles, la Charente doit cette propriété à l'absence complète de sables quartzeux, ses sédiments provenant tous d'un bassin exclusivement calcaire.

Même hauteur de marée pour la Loire, mais constitution géologique entièrement différente de son bassin, qui se ramifie dans toutes les montagnes granitiques du centre de la France. Son estuaire est moins important et surtout moins profond que celui de la Gironde.

La marée augmente en remontant vers le nord; sur les côtes de Bretagne, son amplitude attteint $4^m,40$ au port de Brest, remarquable par la profondeur du goulet et des affluents de la rade. Le résultat est le même pour les petites rivières des côtes de Bretagne et de Normandie, la Vilaine, le Blavet, la Rance, l'Orne, dont les embouchures, creusées dans le roc et balayées jusqu'au vif par les marées, sont accessibles aux navires et desservent chacune un petit port.

Au centre de la Manche, avec une amplitude de marée de 5m, nous trouvons le bel estuaire de la Seine, qui peut rivaliser avec celui de la Gironde.

Les oscillations de la marée se maintiennent et augmentent même en remontant les côtes de la Picardie jusqu'à l'embouchure de la Somme, où elles atteignent une moyenne de 6m,90.

L'estuaire de cette rivière est en rapport avec ce chiffre exceptionnel. Il en est de même des plus petits cours d'eau de cette région, la Canche, l'Authie, remarquables par l'importance relative de leurs embouchures rappelant celles des rivières de la Saintonge.

XXX.

Il serait, croyons-nous, difficile de trouver une confirmation plus nette des principes que nous avons posés. Nous avons tout lieu de supposer que les lois que nous venons d'énoncer ne se vérifieraient pas moins bien, si nous avions des éléments de comparaison suffisants pour étendre cet examen sur toutes les côtes du globe.

Nous manquons malheureusement de chiffres positifs en ce qui concerne l'amplitude relative de la marée, et n'avons pu nous procurer à cet égard que des renseignements vagues et fort incomplets.

Nous ne ferons que citer les côtes des îles Britanniques, découpées dans tous les séns par de profonds estuaires conduisant pour la plupart à des ports de mer importants.

Revenant à notre point de départ, au fond du golfe de Gascogne, nous voyons les larges embouchures qui reparaissent à la Bidassoa, se reproduire sur la côte septentrionale de l'Espagne, et se caractériser de plus en plus sur la

côte occidentale de la péninsule jusqu'au grand estuaire du Tage.

En remontant au nord des côtes de France, à partir de Dunkerque, nous savons que la marée décroît promptement. Son amplitude sur les côtes de la Hollande ne dépasse pas $1^m,50$, au point où viennent aboutir trois grands fleuves, l'Escaut, la Meuse et le Rhin. Leurs embouchures réunies, ainsi que le fait observer M. Élie de Beaumont, participent à la fois de l'estuaire et du delta. Elles présentent en réalité un delta du deuxième genre, des îles d'alluvion séparées par des canaux larges et profonds, constituant autant d'estuaires partiels.

Le phénomène reparaît beaucoup mieux accusé en remontant vers le nord, où la marée reprend une plus grande action. En premier lieu vient l'estuaire de l'Ems [1]. Cette rivière a éprouvé au moyen-âge une transformation qui nous paraîtrait venir à l'appui de notre théorie. Du temps des Romains, l'Ems avait une embouchure mixte, analogue à celle des autres fleuves de la Hollande ; il se déchargeait à la mer par deux ou trois canaux différents. Il a suffi de quelques fortes marées anormales, dans les XII^e^ et XIII^e^ siècles, pour balayer les îles que séparaient ces canaux, et leur substituer un large golfe aujourd'hui connu sous le nom de *Dollart*.

Le Weser et l'Elbe ont conservé de vastes estuaires, que la marée toutefois ne saurait suffire à nettoyer à fond dans toute leur largeur. Sur leurs rives se trouvent des dépôts d'alluvions connus sous le nom de *March*, qui rétrécissent le lit du fleuve sans lui enlever son caractère général.

Au-delà de la presqu'île de Danemark nous tombons

[1] Élie de Beaumont; *Cours de géologie pratique*, pag. 306.

dans la mer Baltique, véritable mer intérieure, sans marée, où nous devrions retrouver des deltas du premier genre. Il en est un très-bien caractérisé, celui de la Vistule. L'embouchure de l'Oder ne présente qu'un golfe profond avec une grande île au sommet; peut-être pourrait-on le considérer comme un estuaire en voie de comblement, qui n'aurait pas encore reçu une quantité de sédiment suffisante. La nature topographique et géologique du bassin de l'Oder, pays plat où les rivières à faible pente ne doivent charrier que peu de sédiments, confirmerait cette hypothèse. A plus forte raison doit-on s'expliquer l'absence de deltas sur les rivières de la côte de Russie, de la Neva surtout, dont les eaux ont été clarifiées et dépouillées de tous leurs troubles par leur passage à travers de grands lacs intérieurs.

Si, des côtes d'Europe nous passons à celles du nouveau Monde, nous trouvons au centre de ses deux continents, le golfe du Mexique, Méditerranée américaine, deux fois fermée par les chaînes des petites et des grandes Antilles, où les marées sont très-faibles; au fond du golfe, un des plus grands fleuves du monde, le Mississipi, a formé un immense delta du premier genre. Des atterrissements analogues, bien que moins considérables, se retrouvent sur toutes les côtes du Mexique, du Texas et de la Floride.

En remontant sur la côte orientale du continent en dehors du golfe, nous voyons les estuaires, peu profonds d'abord, s'accentuer de plus en plus à mesure que s'accroît l'intumescence de la marée. Elle atteint son maximum, le chiffre énorme de 24^m, au nord des États-Unis, dans la baie de Fundy. Au-delà, la dénivellation diminue; elle est encore cependant de 3 à 4^m à l'embouchure du Saint-Laurent. Le régime particulier de ce fleuve, débarrassé de toutes ses déjections par son passage à travers les

grands lacs, explique la conservation de son estuaire, l'un des plus grands du globe.

Sur la côte orientale de l'Amérique du Sud nous connaissons également deux énormes estuaires : l'Amazone et la Plata. Nous n'avons pas de document sur le dernier, mais il n'est personne qui n'ait entendu parler des grandes marées de l'Amazone, remontant à 80 lieues dans les terres. Au nord de ce roi des fleuves, au voisinage du golfe du Mexique, en un point où doit s'atténuer déjà l'amplitude de la marée, nous retrouvons un delta du deuxième genre aux bouches de l'Orénoque.

De grandes marées paraissent exister sur la côte occidentale de l'Amérique. A Panama, nous savons qu'elles dépassent 6^m. La côte est droite, sans golfes ni découpures pouvant rompre l'action des courants littoraux ; aussi n'y retrouvons-nous aucun atterrissement de quelque importance.

La côte d'Afrique nous est peu connue. Nous trouvons dans un ouvrage de M. de Boucheporn, comme résultant des observations du commodore Owen et de l'amiral Roussin, une amplitude moyenne de la marée de $1^m,50$ à l'embouchure du Sénégal, de $3^m,50$ à l'archipel de Bissaos. Ces chiffres concordent avec les indications des cartes géographiques, qui, conformément à notre théorie, nous indiquent un rudiment de delta oblitéré par des sables à l'embouchure du Sénégal, et des estuaires bien caractérisés dans les petites rivières de la côte, telles que le Rio-Nunez, le Rio-Grande, débouchant en face de l'archipel des Bissaos.

Nous ne connaissons rien sur l'amplitude de la marée aux embouchures du Niger, dont le delta se trouve au fond d'un golfe dans lequel l'action latérale des flots doit être très-amortie.

C'est également au fond de golfes et de mers plus ou moins fermées que se trouvent les grands deltas des fleuves de l'Asie : l'Euphrate, l'Indus, le Gange, les rivières de la Chine et de la Cochinchine. Par l'importance de ses atterrissements, le delta du Gange serait le type le plus complet que nous pourrions choisir pour vérifier nos principes sur la formation des deltas du deuxième genre. Nous n'avons malheureusement ni cartes ni renseignements historiques qui puissent nous permettre une telle étude. Notre intention n'est pas d'ailleurs de sortir du cadre des observations que nous avons eu personnellement occasion de faire.

Il nous a paru bon d'indiquer les caractères généraux qui, suivant l'action de la marée et des courants littoraux, permettent de rapporter à trois types principaux les embouchures de nos fleuves et de nos rivières. Nous ne reviendrons par sur les estuaires et les deltas du deuxième genre ; mais nous croyons essentiel d'entrer dans de plus grands détails sur la question des deltas de premier genre, qui nous touche de plus près et nous est mieux connue. L'importance du sujet est d'ailleurs trop grande pour qu'il puisse être traité d'une manière incidente.

CHAPITRE V

CARACTÈRES PARTICULIERS DES FORMATIONS MODERNES SUR LE LITTORAL MARITIME.

XXXI.

La mer reçoit les sédiments que lui apportent les fleuves; elle en produit elle-même en rongeant ses rives et mêlant aux débris de leur désagrégation les dépouilles minérales des innombrables variétés de plantes et d'animaux qu'elle nourrit dans son sein.

Tous ces matériaux d'origine diverse, avant d'atteindre l'état d'équilibre et de repos définitif dans lequel ils constitueront de nouvelles formations géologiques, subissent des actions mécaniques de broyage et de transport dont nous avons à étudier les lois.

Le broyage est d'ailleurs intimement lié au transport. L'un et l'autre ne peuvent provenir que de l'action de certains courants dont il importe, en premier lieu, de déterminer la nature.

Si l'on imprime divers ébranlements à une petite quantité d'eau renfermée dans un vase; si l'on fait agir à sa surface des souffles de sens différents, il se produit dans la masse des mouvements d'abord désordonnés, qui, lorsque l'action extérieure cesse, finissent par se transformer en courants giratoires réguliers et durables.

Des causes nombreuses, le vent, la marée, l'évaporation, certaines actions calorifiques (mal connues jusqu'ici, mais dont l'effet est incontestable), agissent de la même manière sur les mers. La résultante de ces forces diverses produit à leur surface des déplacements d'eau, détermine des courants plus ou moins réguliers, plus ou moins permanents, dont l'existence a été parfaitement démontrée sur certaines directions, soupçonnée sur d'autres.

Tel est le grand courant du *gulf stream*, qui porte sur nos côtes occidentales les eaux chaudes de la mer des Antilles; tel est encore le courant qui remonte la mer Rouge du sud au nord; tel serait enfin le courant giratoire qui, sur nos rivages, suivrait le littoral de la Méditerranée de l'est à l'ouest.

Ces courants, dont l'étude a été récemment l'objet de travaux remarquables, ont une importance majeure au point de vue du service de la navigation; mais on ne saurait leur attribuer une influence sensible sur le fait des transports ou des déplacements des masses minérales qui entrent dans la constitution de nouvelles formations marines.

La vitesse en général très-faible de ces courants peut bien leur permettre de charrier parfois quelques limons légers; mais elle ne saurait suffire à soulever, encore moins à entraîner les sables qui forment le principal élément de nos plages littorales.

Le transport de ces matières lourdes doit avoir une autre cause; il ne peut résulter que de l'action des vagues soulevées par des vents violents produisant des courants successifs d'intensité et de direction très-variables, qui, tour à tour, balayent les plages sous-marines et en transportent les matériaux plus ou moins loin.

Les courants de cette nature sont essentiellement des courants de surface, car on sait que l'action des vagues s'exerce rarement avec une certaine intensité à plus de 15 à 20^{m} de profondeur; au-delà [1], les eaux de la mer restent relativement calmes.

Nous donnerons le nom générique de *plage* à cette surface sur laquelle jouent les courants des vagues, comprise entre le point le plus bas où puisse se faire sentir leur action et le point le plus haut qu'elle puisse atteindre. Elle se composera dès-lors de deux parties que nous aurons parfois occasion de distinguer : la plage extérieure au-dessus du niveau moyen de la mer, la plage sous-marine en dessous.

La plage ainsi considérée comme lieu général des courants des vagues est, jusqu'à un certain point, analogue au fond du lit d'un fleuve. Les deux formations doivent dès-lors présenter une certaine similitude, au point de vue de l'équilibre des matières minérales qui les constituent.

Nous avons vu (XXIII) que les arènes ou sables pouvaient seuls résister à l'action d'un grand courant de surface. Le volume et le poids relatifs de leurs particules doivent, en effet, les maintenir ou les ramener promptement au fond de l'eau ; tandis que les limons, n'ayant aucune dimension appréciable, n'offrant aucune résistance superficielle, sont

[1] On est fort peu d'accord sur cette profondeur à laquelle se fait sentir le mouvement des vagues. Certaines personnes la réduisent à 10 ou 12 mètres; d'autres la portent à plusieurs centaines et même plusieurs milliers de mètres. Cette contradiction apparente s'explique par la diversité des effets observés. La limite à laquelle nous nous arrêtons paraît représenter le point où l'impulsion du flot est suffisante pour soulever les sables et les galets; mais son agitation se continue sans doute bien au-dessous.

soulevés et maintenus en suspension par le moindre courant.

Les matières minérales, incessamment remaniées par les courants des vagues, subissent les mêmes effets que celles qui sont entraînées par les courants des fleuves. Les sables seuls restent au fond du lit, à la surface de la plage ; les limons, accidentellement tenus en suspension, sont rejetés au dehors, soit dans les profondeurs tranquilles de la haute mer, soit plus rarement dans quelques criques écartées des lagunes intérieures où le roulis des vagues se transforme en un inoffensif clapotement.

Par la même analogie toujours, les sables des plages devraient être exclusivement formés de matières quartzeuses, si de nouveaux éléments ne venaient sans cesse en renouveler la partie friable.

Le plus important de ces apports accidentels est celui des débris de coquilles calcaires, qui entrent en général pour une assez forte proportion dans la masse des sables marins.

XXXII.

Nous avons donné le nom de plage à la surface tant extérieure que sous-marine sur laquelle s'exerce l'action du courant des vagues. Il importe de déterminer nettement la nature de ces courants. Ils sont nécessairement produits par des vagues venant du large, obliquement ou normalement à la côte. Nous verrons tout à l'heure quelle est l'influence réelle de la composante tangentielle de ces courants ; ne considérons pour le moment que leur composante normale.

Toute vague détermine deux courants, l'un ascendant et l'autre descendant.

Le courant ascendant, agissant avec toute l'impétuosité de la force vive en mouvement, doit exercer une action érosive sur le fond, soulever et entraîner les matières meubles qui en forment la surface. Nous avons déjà dit que les limons, tenus en suspension par le clapotement des eaux, étaient peu à peu absorbés par la haute mer ; les sables, au contraire, se meuvent sur place. Roulés par le courant ascendant dans le sens de sa direction, ils sont refoulés vers l'arête culminante de la plage.

Le courant descendant, déterminé par le retour des eaux élevées au-dessus du niveau moyen d'équilibre, produit un effet inverse de celui du courant ascendant, mais fort amoindri. Il ne restitue qu'une faible partie de la force vive dépensée, dont la majeure partie a été consommée par les frottements ou les chocs. Il n'a qu'une faible action érosive ; ramenant les sables entraînés par le courant ascendant, il ne fait que restituer à la plage sous-marine une partie de ce qu'elle peut avoir momentanément perdu.

C'est donc surtout à l'action normale du courant ascendant que la plage doit son profil normal et sensiblement invariable, qui n'a rien d'arbitraire, qui est déterminé par la condition qu'en chaque point il y ait équilibre entre le travail de la pesanteur qui tend à maintenir les sables en place, et le travail du courant qui tend à les entraîner.

En réalité, le profil de la plage doit présenter une courbe concave dont il ne serait pas impossible de déterminer la forme par le calcul, et qui peut plus ou moins se creuser suivant l'intensité des vagues. En pratique, faisant abstraction de cette courbure probable de la plage, on peut la considérer comme un simple plan incliné, dont la pente moyenne varie avec la nature des sables de fond, mais qui est à peu près constante en chaque lieu. Sur nos

côtes du Languedoc, cette inclinaison moyenne est de 0m,01 environ par mètre.

Connaissant les conditions normales dans lesquelles fonctionne une plage existante, il importe de déterminer dans quelles circonstances ce plan incliné sur lequel s'exerce le jeu des vagues a pu se produire à l'origine, lorsque la mer, nouvellement formée, a commencé à agir sur les matériaux naturels de sa cuvette, abstraction faite de tout apport extérieur de sédiments nouveaux.

Nous reproduirons ce point de départ primordial, en admettant que, par une cause quelconque, le niveau d'une mer actuelle venant à s'élever brusquement de 15 à 20m au moins, ses eaux s'étendent sur une nouvelle surface continentale équivalente.

Toutes les circonstances qui peuvent se présenter, nous paraissent pouvoir se ramener à trois principales, suivant que la nouvelle côte atteinte par les eaux sera composée : de terrains meubles bas ou escarpés dans le premier et le deuxième cas; de terrains résistants d'une inclinaison quelconque dans le troisième.

Supposons en premier lieu que les flots envahissent une côte basse, sensiblement horizontale, composée de terrains meubles. Les vagues, sur toute l'amplitude de leur action verticale, que nous avons dite être de 15 à 20m, remanieront et bouleverseront ce sol trop peu résistant.

Les parties limoneuses, maintenues en suspension par le clapotement, seront entraînées peu à peu vers la haute mer, où elles se déposeront dans un état d'équilibre définitif. Les sables, les galets, incessamment déposés et repris, resteront seuls sur place, pour constituer la nouvelle plage. Son emplacement, en dehors de toute autre cause accidentelle, par le fait des seules actions normales que

nous avons considérées jusqu'ici, se trouvera déterminé, en reportant sur le profil primitif des terrains bouleversés le profil normal de la plage, en un point tel que les sables provenant du déblai puissent suffire à constituer le talus et le couronnement de cette plage. Son cordon extérieur sera établi en retrait, délaissant en arrière une zone de la surface continentale primitivement submergée.

Admettons en second lieu que la surface continentale envahie par l'exhaussement hypothétique de la mer, toujours formée de terrains meubles et affouillables, ait une inclinaison supérieure à celle d'une plage normale. Les vagues corroderont le pied des coteaux, en formant des falaises dont elles reculeront de plus en plus le pied, jusqu'à ce que le terrain ainsi déblayé soit suffisant pour servir d'assiette à l'établissement d'une nouvelle plage normale. Cette plage sera encore constituée de sables provenant de la désagrégation opérée sur place ; mais elle différera de la précédente en ce qu'elle sera formée par empiètement sur le domaine terrestre et non plus par retrait de la surface maritime.

Dans la dernière hypothèse enfin, si les talus du terrain naturel sont formés de roches inattaquables, la mer conservera sa profondeur, et l'action des vagues s'usera à corroder lentement les roches des parois. Il n'existera pas de plage complète et continue, on n'en retrouvera que des lambeaux épars dans les criques ou les anfractuosités de la côte, assez bien abritées pour permettre aux talus des sables de s'asseoir à une suffisante profondeur.

En résumé, si nous remontons à l'époque originaire, antérieurement à tout apport extérieur de sédiment, nous aurons donc à considérer sur le littoral deux côtes de nature différente, suivant que, formées dans le principe au

contact de surfaces continentales affouillables ou résistantes, elles seront ou non pourvues de plages normales et continues.

Il est bien évident que, sauf le cas d'un apport exceptionnel de sédiment, tel que celui qui résulte du débouché d'un grand fleuve, il ne pourra se produire de dépôts le long des côtes profondes dont les talus naturels dépassent l'inclinaison normale des sables sur les plages sous-marines. De nouvelles formations géologiques ne pourront se développer que sur les côtes affouillables, possédant une plage normale dressée suivant un talus régulier de résistance à l'action des vagues.

Les formations littorales de l'époque actuelle se présentent sous des aspects assez variés. Ce sont tantôt de larges massifs de dunes, tantôt de simples grèves étroites de sables ou de galets qui parfois sont immédiatement attenantes au continent, parfois en sont séparées par des lagunes ou étangs intermédiaires.

Dans leur ensemble, ces formations ont reçu de M. Élie de Beaumont le nom générique d'*appareil littoral*, sous lequel nous allons les étudier avec quelques détails.

XXXIII.

Nous venons de voir dans quelles circonstances spéciales l'appareil littoral avait dû se produire à l'origine sur les côtes affouillables. Pour étudier avec quelque fruit les nouvelles formations que les actions modernes ont ajoutées à la plage primitive, il est nécessaire d'embrasser toutes les causes qui peuvent concourir à leur développement. Nous ne saurions plus, comme nous l'avons fait pour indiquer les circonstances théoriques dans lesquelles la plage

a commencé à se former, faire abstraction des nouveaux sédiments, pas plus que de la composante tangentielle des vagues sur la côte.

Les courants des vagues produisent ou modifient l'appareil littoral; mais ces courants eux-mêmes dérivent de l'action des vents, dont nous avons dès-lors à nous occuper en premier lieu.

D'une manière générale, les vents qui soufflent en un point du littoral peuvent se diviser en vents de terre et en vents de mer ou du large, embrassant chacun environ 180° de l'horizon.

Les vents du large produisent seuls les vagues qui heurtent le rivage; ils sont par suite les seuls qui puissent repousser les sables à la côte.

Les vents de terre ne donnent naissance qu'à des vagues courtes, sans profondeur, ne pouvant avoir aucune influence, soit sur le mouvement des flots, soit sur le déplacement des sables sous-marins. Rejetant à la mer les sables émergés, ils n'ont qu'une action en quelque sorte négative sur les formations littorales, mais qui n'en a pas moins une grande importance.

A part l'action indirecte qu'ils exercent sur les sables marins soulevés par les vagues, tous les vents du large peuvent, d'une manière plus générale, imprimer un mouvement aux sables émergés. Ce mouvement est caractérisé par le déplacement des dunes, collines sableuses, parallèles, à deux revers inégalement inclinés, que les grains de sable parcourent successivement : par l'effet du vent sur le talus moins incliné de l'arrière, par l'effet de la pesanteur sur le talus plus raide de l'avant. Ce mouvement d'un grain de sable émergé sur les deux talus d'une dune, a une certaine analogie avec l'oscillation d'un grain de sable

immergé sur le talus normal de la plage, avec cette différence que, parvenu au sommet de la dune, le grain de sable, au lieu d'osciller toujours dans le même plan, trouve un plan incliné spécial pour opérer sa descente.

L'inclinaison du talus de l'arrière, déterminée par la condition que le travail de l'action du vent soit égal à celui de l'action de la pesanteur sur un même grain de sable, dépendra naturellement de l'intensité des vents régnants, de même que l'orientation des dunes dépend de la direction de ces mêmes vents.

Revenant à la considération particulière de l'appareil littoral, nous voyons, comme premier effet, que la composante normale des vents du large reprend sans cesse les grains de sable émergés sur le cordon de couronnement de la plage, et les pousse sous forme de dunes sur le continent. La composante normale des vents de terre, au contraire, rejette incessamment à la mer les grains de sable qui s'en sont écartés, et s'oppose à tout envahissement continental de leur part.

De ce premier principe on peut conclure comme conséquence importante que, sur toute côte où l'action des vents du large est dominante, l'appareil littoral doit être caractérisé par des dunes; qu'il ne doit, au contraire, présenter qu'un étroit cordon de sables couronnant la plage, sur les rivages où domine l'action des vents de terre.

Les côtes de Gascogne, battues par les vents de nord-ouest, nous offrent un exemple de la première formation; nous en trouvons un de la seconde sur les côtes du Languedoc, où dominent les vents de nord et de nord-ouest soufflant de terre, et qui sont presque complètement dénuées de dunes.

L'action dominante du vent de terre n'a d'autre influence

que de restreindre les envahissements de l'appareil littoral, de maintenir les sables entraînés dans un état permanent d'oscillation sur le talus incliné de la plage. L'action des vents du large est beaucoup plus compliquée. A part la composante normale qui rejette les sables à la côte et les pousse sur le continent, il faut tenir compte de la composante tangentielle qui détermine un mouvement latéral, tant des dunes émergées que des sables encore immergés.

La première action est facile à comprendre et à constater sur les dunes existantes ; la seconde a besoin de quelques explications.

Les vagues soulevées par les vents obliques du large, ayant en général traversé les mers sur de très-grandes étendues, lorsqu'elles atteignent les côtes, affouillent avec violence le talus incliné de la plage, dont elles projettent les sables au-devant d'elles, jusque sur les parties hautes de ce talus. Ce mouvement oblique à la direction générale des côtes a naturellement pour résultat de déplacer latéralement, par rapport à la normale, les sables ainsi soulevés. Lorsque la vague se retire, les eaux, en s'écoulant avec vitesse sur le talus découvert de la plage, entraînent avec elles les sables que cette vague a apportés; mais ce second mouvement n'a pas lieu dans une direction inverse du précédent, il se produit naturellement suivant la normale à la côte. Il se continue jusqu'à ce que les sables entraînés soient repris par une seconde vague oblique qui les rejette au sommet de la plage, en un point différent de celui qu'ils occupaient dans la première station.

La trajectoire parcourue par un grain de sable forme ainsi une série de lignes brisées, obliques à la plage pour l'action directe de la vague, normales pour l'action de retour des eaux.

L'action oblique d'un vent du large détermine donc un déplacement des sables immergés dans le sens de sa composante tangentielle à la plage. L'ensemble de ces déplacements alternatifs, à droite et à gauche de la normale en chaque point, se traduit finalement par un mouvement moyen des sables qui suit toute l'étendue de la côte, si elle est rectiligne, présentant toujours la même inclinaison aux divers vents du large, en chacun de ses points. Confondant en une appellation unique la cause et le résultat final de ce mouvement, nous les désignerons sous le nom de déplacement latéral des sables.

Un nouveau phénomène se produit quand la côte, au lieu d'être rectiligne, présente des découpures plus ou moins profondes, séparées par des caps ou promontoires saillants.

Lorsqu'une vague oblique, entraînant avec elle une certaine quantité de sables, vient à doubler un de ces caps saillants, elle se projette naturellement en avant dans sa direction, délaissant sur le côté, à l'entrée du golfe contigu, une zone d'eaux tranquilles dans laquelle viendront se déposer les sables dont la vague était chargée.

Si, comme nous le supposons, ces apports de sable ne tombent pas dans une mer profonde qui pourrait les engloutir, mais sur les talus faiblement inclinés d'une plage déjà formée, on conçoit que la composante normale des vagues du large ne doive pas nécessairement détruire ce dépôt, qu'elle n'ait d'autre effet que de le façonner sous la forme normale d'une nouvelle plage qui se prolongera peu à peu, à partir du cap saillant qui lui a donné naissance, suivant la direction de la résultante moyenne des vents obliques du large.

Cet effet de fixation de la nouvelle plage à l'entrée du golfe sera d'autant plus probable qu'il ne tendra en général

qu'à compléter la disposition naturelle en vertu de laquelle nous avons vu qu'à l'origine, une mer de nouvelle formation a dû restreindre ses limites, au contact de terres meubles et peu inclinées, analogues à celles qui occupent habituellement la cuvette d'un golfe.

XXXIV.

Par déduction des principes qui précèdent, nous pouvons nous faire une idée précise de l'appareil littoral. A l'origine de la période géologique actuelle, en admettant, ce qui paraît démontré, que les mers aient envahi de nouveaux rivages, elles n'ont dû constituer qu'une simple plage le long des terrains affouillables, plage attenante au continent au pied des côtes abruptes et rectilignes, délaissant en arrière d'elle une zone extérieure de lagunes sur les côtes basses, et principalement au fond de certains golfes.

L'appareil littoral s'est développé avec le temps, mais de préférence sur les côtes où il s'était naturellement produit à l'origine. Nous citerons cependant certains cas dans lesquels des fleuves débouchant sur des côtes abruptes à talus de rocher, ont formé des comblements assez puissants pour servir d'assiette et de point de départ à de nouvelles plages.

Dans l'état actuel, l'appareil littoral est déterminé du côté de la mer par une plage sablonneuse à talus réguliers, qui adhère à la côte lorsqu'elle est rectiligne, qui en est parfois séparée par des étangs et des lagunes occupant le fond des golfes de la côte primitive, lorsqu'elle était sinueuse.

Dans ce cas, la plage dessine à grands traits le relief général de la côte continentale, dont elle adoucit les con-

tours, en se rattachant de loin en loin à ses saillies principales.

Cette forme extérieure de l'appareil littoral dépend de la configuration originaire des côtes ; sa constitution intérieure dépend de l'intensité relative des vents soufflant de la terre ou du large.

Lorsque le vent de terre domine, l'appareil littoral se réduit à une simple plage qui adhère au continent ou en est séparée par des lagunes ; dans ce dernier cas elle porte le nom de *cordon littoral.*

Les étangs, ainsi délaissés en dehors du domaine de la mer, conservent leur emplacement et leur assiette. Ils n'ont en général qu'une très-faible profondeur, suffisante pour tenir les sables du fond immergés et les préserver de l'action du vent de terre qui tendrait à les rejeter à la mer ; mais ils ne peuvent être entièrement atterris que par les alluvions terrestres amenées par les affluents qui y ont leur débouché.

Le niveau de ces étangs varie avec celui de la mer, qu'il ne dépasse que rarement et d'une faible quantité, pendant les temps d'inondation et de grandes tempêtes. Les eaux retenues dans ces bassins intérieurs ne communiquent avec les flots du large que par un petit nombre de passes étroites qui, sur les côtes de France et d'Espagne, sont connues sous le nom de *graus.* Ces étangs sont toujours plus ou moins salés, suivant la saison ; en général cependant un peu moins que la mer. Leurs eaux se renouvellent par des courants alternatifs qui s'établissent à travers les graus, suivant toute les variations d'intumescence relative que les vents, la marée, la pression atmosphérique, l'eau pluviale, etc., peuvent déterminer entre le niveau des deux masses d'eau.

Les moindres affluents limoneux déterminent un delta

dans ces lagunes, delta d'autant plus étendu que la surface à combler a moins de profondeur. Pour peu que ces affluents aient d'importance, leurs déjections latérales suffisent pour les encaisser et les conduire jusqu'au cordon littoral, dans lequel ils constituent de véritables graus. Une fois en ce point, l'affluent abandonne ses sédiments à la mer, qui engloutit les limons dans ses profondeurs et livre les sables au jeu des courants littoraux de la plage, sauf le cas de très-grands fleuves, amenant assez de sédiments pour prolonger le delta en pleine mer, ainsi que le font en particulier le Rhône et l'Èbre sur les côtes de la Méditerranée.

Lorsque le rivage est soumis à l'influence prédominante des vents du large, le cordon littoral s'épaissit et donne naissance à une formation de dunes d'autant plus puissante qu'elle est alimentée par un apport plus considérable de sédiments étrangers.

Sauf l'érosion accidentelle de quelques falaises, et les débris de coquilles qui, par le fait de leur nature calcaire, sont promptement transformés en limons et engloutis, la mer ne produit par elle-même que peu de sables pouvant entrer dans la constitution de l'appareil littoral. Les dunes ne peuvent donc se développer sur une grande échelle que lorsqu'elles sont alimentées par l'apport voisin d'un grand fleuve. Dans ce cas elles envahissent les étangs situés à leur pied, s'étendent même au-delà sur de nouvelles surfaces continentales; mais, ne laissant aucun écoulement aux eaux pluviales, elles les refoulent au-devant d'elles. Les étangs sont déplacés plutôt que comblés. Ils se continuent en chapelets allongés au pied des dunes, ne communiquant avec la mer que par un petit nombre de passes, qui sur les côtes de Gascogne portent le nom de *courants*. In-

cessamment barrés par l'avancement ou l'éboulement des dunes, ces étangs successifs n'ont point une libre communication, à un niveau sensiblement constant, avec la mer, comme ceux qui n'en sont séparés que par un étroit cordon littoral. Lorsque le chapelet de ces étangs échelonnés se prolonge sur une assez grande longueur, les plus élevés finissent par se trouver au-dessus des plus hautes marées et ne contiennent plus dès-lors que des eaux complètement douces. Tel est, sur la côte des Landes, l'étang de Cazaux, dont le niveau moyen est à 8m,00 au-dessus de celui de l'Océan.

Le mouvement des dunes littorales n'a pas seulement déterminé la formation des étangs élevés de cette région ; luttant contre l'action de la marée, il a amené l'atterrissement de l'estuaire de l'Adour et créé à l'entrée de cette rivière une barre infranchissable contre laquelle ont échoué jusqu'ici les efforts des ingénieurs. Parfois même cet envahissement de sables a suffi pour fermer complètement l'issue des eaux qui, refoulées parallèlement à la côte, sont venues pendant plusieurs siècles déboucher à trente kilomètres de l'embouchure normale qu'elles ont aujourd'hui.

En somme, l'appareil littoral ne constitue par lui-même que des formations sablonneuses où le quartz domine, où l'argile fait complètement défaut ; qui, au point de vue physique et minéralogique, ne peuvent produire que de très-médiocres terres végétales. Mais les larges plates-formes de ses plages, les cuvettes peu profondes de ses lagunes, servent parfois d'assiette aux dépots d'alluvions limoneuses apportés par les affluents continentaux qui donnent lieu à des formations d'une beaucoup plus grande valeur.

XXXV.

Nous venons de voir quelle était la constitution normale de l'appareil littoral, déterminé par l'action directe de la mer. Il nous reste à étudier les modifications que peut produire sur les plages et les lagunes à fond de sable de cette formation, l'apport des sédiments continentaux charriés par nos fleuves.

Tout courant chargé de sédiments qui rencontre une nappe d'eaux tranquilles, y dépose instantanément les troubles dont il est chargé sous la forme d'un cône aux talus très-allongés, qu'on appelle habituellement cône de déjection.

De pareils cônes sous-marins se rencontrent au-devant de l'embouchure de toutes nos rivières, où ils constituent la barre, sorte de seuil relativement beaucoup plus élevé que le fond du lit dans les parties d'amont.

Le batillage continu des flots opère sur ce dépôt un phénomène de lévigation analogue à celui qui se produit sur tous les atterrissements maritimes. Les limons sont entraînés dans la haute mer ou reportés sur les formations antérieures; les sables quartzeux au contraire s'accumulent sur la barre, orientant leurs molécules dans le sens de la plus grande résistance au courant.

Ce sable, incessamment rechargé de sables nouveaux, se déplace et s'allonge sous l'eau, en roulant sur lui-même à peu près comme s'avancent sur notre littoral de l'ouest les dunes sablonneuses poussées par le vent. Si rien ne vient arrêter ou entraver l'action du courant naturel du fleuve, ce mouvement de la barre se continue jusqu'à ce que le sommet du cône finisse par s'élever au-dessus de la mer,

formant désormais un obstacle fixe qui divise en deux le courant principal.

Pareil phénomène a dû naturellement se produire à l'origine pour les premiers sédiments qui se sont déposés à l'entrée des fleuves dans la partie de leur estuaire où remontaient les eaux d'une mer sans marée. Un premier îlot sous-marin s'est formé et exhaussé de plus en plus jusqu'à ce qu'il ait fini par se fixer. Dès ce moment il a servi de point de diramation à deux courants littoraux qui, une fois tracés, se sont continués le long de l'estuaire ; chacun d'eux déposant au contact des eaux tranquilles deux premiers bourrelets longitudinaux dont l'un prolongeait une des berges saillantes de l'îlot central, dont l'autre se rattachait à la ligne continue des alluvions latérales formées dans la partie supérieure de l'estuaire.

Cet état pour ainsi dire rudimentaire du delta une fois indiqué, la forme s'en est accentuée de plus en plus ; les bourrelets latéraux se relevant et s'épaississant à mesure qu'ils étaient surmontés par les eaux d'inondation, se sont recouverts de nouvelles couches de limons d'autant plus puissantes qu'elles se sont déposées plus près du point de déversement.

La continuation des mêmes effets a développé : au centre des atterrissements, un delta formé de deux berges relativement élevées, s'abaissant vers un étang central; sur les côtés, deux zones plus ou moins larges de terrains marécageux, d'autant plus basses qu'elles s'écartent davantage du cours d'eau, et que les eaux déversées latéralement en temps de crue y arrivent plus appauvries de limons.

La ceinture du marais central, lorsqu'il a eu atteint un certain développement, a fini par se compléter par un cordon littoral qui l'a isolé de la mer et l'a transformé en cuvette

à peu près fermée, mais sujette cependant aux irruptions accidentelles, soit du fleuve par-dessus ses digues naturelles, soit de la mer à travers les coupures du cordon littoral.

De là cette alternative continuelle de formations tour à tour marines et fluviatiles, que l'on rencontre habituellement dans ces sortes de terrains.

Quant aux plaines latérales, continuation en quelque sorte de celles qui forment les deux rives de la vallée, en amont du point de bifurcation, elles présentent habituellement deux pentes, l'une longitudinale vers la mer, dans la direction générale du courant, l'autre latérale, vers les coteaux formant les berges primitives de l'estuaire.

Telle est la forme la plus simple et la plus élémentaire sous laquelle se produit un delta, sous laquelle il se développe jusqu'à ce qu'il ait achevé de combler son estuaire et commencé à envahir la haute mer.

En ce moment il peut se faire, lorsque le fleuve est considérable, que le déplacement latéral déterminé par l'action des vagues obliques à la côte (XXXIII) ne soit pas suffisant pour entraîner à mesure tous les sables apportés. Dans ce cas, le delta se prolonge en saillie sur la mer. Sa formation est d'ailleurs compliquée par la déviation du courant de déplacement lui-même, qui, délaissant une nouvelle zone d'eaux tranquilles en arrière des promontoires du delta, détermine la création de nouveaux cordons littoraux et de nouvelles lagunes. Nous n'insisterons pas pour le moment sur cette phase nouvelle du phénomène. Les considérations que nous pourrions émettre à ce sujet trouveront plus naturellement leur place dans l'étude spéciale du delta du Rhône.

Les caractères généraux que nous avons assignés à la

formation principale dans l'intérieur de l'estuaire, abstraction faite du prolongement en pleine mer, n'ont eux-mêmes rien de bien absolu. Il peut se faire notamment que chacun des deux grands courants entre lesquels se partagent les eaux de l'affluent se bifurque à son tour et donne naissance à des deltas secondaires ou îlots intérieurs présentant toujours le même caractère de cuvettes plus ou moins profondes, renfermées entre deux bourrelets saillants sur l'ensemble général des terrains ou des marais voisins.

Parmi les bras plus ou moins nombreux entre lesquels peut ainsi se diviser le courant, il en est en général un seul, rarement deux, qui ont une importance prédominante, moins par la masse des eaux qu'ils débitent que par la proportion relative des sables de fond qu'ils charrient. Les formations des embouchures, surtout lorsqu'elles se prolongent en haute mer, n'ont de fixité réelle que tout autant qu'elles reposent sur une base de sable. Les limons ne peuvent s'arrêter que dans les lagunes complètement fermées ou sur les bancs de sable déjà formés. Si nous considérons le Rhône en particulier, nous voyons le grand bras, qui débute à Arles par une grande profondeur relative dans laquelle doivent se précipiter tous les sables de fond, former seul des atterrissements dans la Méditerranée.

Le petit bras, bien qu'il débite une grande quantité d'eau chargée de limons, ne saurait les fixer, faute de sable pour leur servir de point d'appui, et son musoir, loin de s'être avancé dans la mer, paraît s'être amoindri depuis les temps historiques.

Même observation peut être faite sur le Mississipi. Pendant que sa branche la plus profonde, dans laquelle doivent se concentrer tous les sables, s'avançant tous les jours dans le golfe du Mexique, à raison de 100^{m} par an, est déjà à

50 kilom. de la formation principale, les branches latérales, s'en détachant par des déversoirs dont le seuil est peu élevé [1], n'ont formé aucun atterrissement appréciable en dehors des cordons littoraux.

XXXVI.

Avant d'étudier plus à fond sur un exemple particulier la question si importante des deltas, il ne sera pas inutile de faire application des principes généraux que nous venons d'exposer sur l'ensemble des formations de l'appareil littoral, à une certaine étendue de côtes déterminées. Nous choisirons celles du golfe de Lyon ou du Lion, formant le littoral du bas-Languedoc et du Roussillon. (*Pl.* I.)

Le golfe du Lion peut être considéré dans son ensemble comme représentant à peu près un demi-cercle d'un rayon de 90 kilomètres, dont le sommet serait dans les terres au nord-ouest de Cette, et qui aurait pour base un diamètre incliné de 45° sur le méridien, entre les deux points extrêmes du golfe, le cap Creux en Catalogne, le cap Couronne en Provence.

Le rayon normal à la plage, entre Cette et Agde, dans la direction du nord-ouest au sud-est, serait à la fois l'axe du golfe, et la ligne magistrale réglant la direction des vents dominants de terre et du large, qui sont, à Cette, le vent du nord-ouest soufflant pendant 135 jours, le vent du sud-est pendant 42 jours.

Si nous nous plaçons au sommet du golfe, sur la montagne de Cette, en regardant la mer, nous voyons la côte épouser assez régulièrement sur la droite le contour de ce demi-cercle idéal; au centre et vers la gauche, au contraire,

[1] Élie de Beaumont; *Géologie pratique*.

former un avancement moyen de 20 à 30 kilomètres, dont les points les plus saillants sont les buttes isolées, l'une calcaire, l'autre volcanique, qui forment les montagnes de Cette et d'Agde. Ces deux promontoires existaient déjà à l'état d'îles détachées du continent, à l'origine de la période actuelle; mais il n'en était pas de même des côtes basses et sablonneuses qui les relient et se poursuivent sur la gauche. A partir de la montagne de Cette, la côte originaire du Languedoc devait remonter au nord-est, se rattachant à la berge droite de l'estuaire du Rhône, dont la berge gauche était formée par le plan incliné de la Crau, soudé lui-même aux côtes rocheuses de la Provence.

En aval du golfe secondaire formant ce vaste estuaire, par l'effet naturel de la composante normale des vagues du large, remaniant les côtes basses du Languedoc et les débris diluviens rejetés dans le golfe du Lion, il a dû se former dès le principe une plage normale. Ce cordon littoral primitif, partant du cap d'Agde, se reliant au passage à celui de Cette, traversait l'emplacement de la Camargue dans la direction du cap Couronne, sans qu'il paraisse toutefois s'être jamais rattaché à la côte de Provence en ce point.

Les sédiments du Rhône, absorbés par le comblement de l'estuaire, sont restés complètement étrangers à ce premier travail, qui, dès l'origine de la période moderne, a dû régulariser le pourtour normal des côtes du golfe du Lion.

Cette formation a été profondément modifiée plus tard, lorsque le Rhône, après avoir atterri son estuaire, a commencé à faire irruption dans la mer.

Le premier débordement des sables en avant du cordon littoral, ainsi que nous le verrons tout à l'heure, paraît avoir eu lieu sur la droite, à l'emplacement de Sylveréal. Ces sables ont été refoulés pendant les tempêtes, par les vents

de sud-est, sur la plage voisine qui, se trouvant en partie abritée par les coteaux de Saint-Gilles contre les vents du nord-ouest, n'a pu être entièrement balayée par eux.

Le cordon primitif existant en ce point à droite de l'embouchure de Sylveréal a donc dû s'épaissir par la formation des dunes puissantes, parfaitement caractérisées, que nous retrouvons aujourd'hui dans le massif de la sylve godesque.

Mais en même temps qu'une partie des sables se trouvaient ainsi refoulés et fixés sur le continent par l'abri des coteaux de Saint-Gilles, leur plus grande masse, s'avançant dans la mer, formait la base du cône de déjection du delta.

Cette saillie progressive de la pointe des atterrissements déterminait à mesure sur la droite une anse abritée, à l'entrée de laquelle le vent dominant du large, le vent de sud-est, refoulait incessamment les sables arrachés par les vagues au musoir du delta. L'effet de ce déplacement latéral a été de donner successivement naissance à trois cordons secondaires sensiblement parallèles, orientés suivant la direction du sud-est, qui tour à tour ont été se souder presque perpendiculairement au cordon littoral principal, en détachant chaque fois du domaine maritime le fond de l'anse correspondante. C'est ainsi que se sont formés l'étang de Leyran, les étangs de la Ville et du Roi, et finalement l'étang de Repausset, représentant autant de stations consécutives de ce cordon littoral accessoire produit par l'action rectiligne du vent dominant du large.

Nous reviendrons sur le travail du Rhône, postérieurement à cette seconde phase de développement, déjà bien éloignée de nous. Depuis cette époque, les atterrissements du fleuve se sont portés sur la gauche. Ils ont considérablement accru le delta, et sous ce rapport ont une grande importance; mais ils n'ont plus qu'une très-faible influence

sur le régime général de la côte du Languedoc, à l'ouest du point de soudure du dernier cordon secondaire de droite, avec l'ensemble de la grande plage primitive.

L'action du fleuve se borne sans doute à ajouter quelques sables au courant latéral de déplacement qui longe la partie conservée de cette plage, courant d'ailleurs très-faible, car, ainsi que nous l'avons déjà dit, il ne peut résulter que de l'action oblique des vagues du large. Or il suffit de considérer la carte pour reconnaître que le vent dominant, celui du sud-est, normal à cet élément de la côte, n'a aucune composante tangentielle. Le déplacement ne peut donc résulter que de la différence d'action entre les vents de sud et sud-est, d'une part, qui déterminent le mouvement vers la gauche, et les vents d'est et nord-est, qui poussent à droite. La résultante de ces déplacements paraît être dans le sens de cette dernière direction ; elle est d'ailleurs très-faible, car, à Cette, le mouvement annuel des sables ne dépasse pas 80,000 mètres, et encore ce cube ne représente-t-il pas la différence des deux effets qui devrait être considérée, mais leur somme. Une partie de ces sables pourrait, à la rigueur, provenir de l'ouest, de l'embouchure de l'Hérault ; quant au reste, il n'est nullement nécessaire d'admettre qu'il vienne du Rhône. Non-seulement les petits affluents directs de la côte, le Lez et le Vidourle, en fournissent une quantité à peu près suffisante pour représenter le volume annuel déplacé ; mais, en parcourant la plage, il est aisé de reconnaître que sur plusieurs points la mer opère elle-même un affouillement des couches inférieures de son lit. Elle rejette incessamment sur la plage des fragments de grès quartzeux qui doivent, pour une forte part, contribuer à compenser les pertes résultant du déplacement latéral et de l'absorption

de la haute mer sur les débris limoneux, assez complètement broyés pour être entraînés par le ressac à l'état de suspension.

La grande lagune littorale se termine à Agde, en un point où nous trouvons un nouvel apport de sables assez considérable provenant de l'embouchure de l'Hérault. Entre cette embouchure et celle de l'Orb, la côte continentale, primitivement plus inclinée et plus avancée vers la mer que celle qui existait à l'est de l'Hérault, n'a donné lieu à aucune lagune originaire, sauf quelques mares peu étendues, connues sous le nom de *clots*, qui emmagasinent les eaux des petits affluents intermédiaires. La côte étant balayée normalement par les vents dominants de terre et du large, les sables n'y paraissent avoir que de faibles déplacements latéraux, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Incessamment ballottés suivant la normale, ils se sont peu à peu cantonnés sur les points du littoral les mieux abrités contre le vent de terre, où ils ont constitué des dunes d'autant mieux caractérisées que l'abri était plus complet. La plus importante de ces formations est celle qui s'étend au pied même de la montagne d'Agde, où elle occupe une superficie d'un millier d'hectares.

Les alluvions de l'Aude, dont nous aurons à nous occuper avec détail, se sont pendant longtemps déposées dans de vastes lagunes qui ne sont plus séparées du continent par un simple cordon littoral, mais par une chaîne d'îles rocheuses orientées du nord au sud.

Sous la domination Romaine et pendant une partie du moyen âge, l'Aude a eu son embouchure principale dans ces lagunes. Il y a peu de temps que ses sables arrivent directement à la mer. Repris par l'action normale du vent de terre, ils paraissent s'être en grande partie cantonnés dans

les dunes qui séparent l'étang de Vendres de la mer.

Entre l'embouchure de l'Aude et Port-Vendres, le déplacement latéral doit être déterminé par l'action dominante des composantes tangentielles des vents de sud-est et de sud, qui deviennent obliques à la côte. Les observations faites paraissent avoir confirmé ce résultat. Ce déplacement est d'ailleurs assez faible, et c'est surtout par leur composante normale que les principaux vents du large, l'est et le sud-est, agissent en refoulant les sables vers le continent, soit dans les lagunes par les graus, soit sur la côte découverte du Roussillon, où cet effet est plus particulièrement marqué.

Cette côte basse et formée de terrains diluviens analogues à ceux qui bordaient l'estuaire du Rhône, a dû, dans le principe, déterminer la formation d'un cordon littoral en retrait, délaissant des lagunes dont l'étang de Saint-Nazaire nous offre le vestige le mieux conservé. Mais cet aspect primitif de la côte a été modifié par l'effet des principaux vents du large, l'est et le sud-est, battant normalement la côte, sans que leur action soit compensée par celle des vents de terre nord-ouest et nord qui sont, l'un parallèle, l'autre très-oblique au littoral. Le refoulement général des sables apportés en grande abondance par les rivières torrentielles de l'Agly, de la Tet, du Tech, etc., a déterminé la formation des dunes[1] qui, sur une longueur de plusieurs kilomètres, couvrent la côte et ont dû combler ou réduire à de bien moindres proportions les lagunes littorales primitives.

[1] Cette formation est encore mieux accusée sur la côte de Catalogne, au-delà du cap Creux. L'ancienne ville d'Emporium, l'une des cités les plus importantes d'Espagne sous la domination Carthaginoise et Romaine, a été envahie par les dunes, et se trouve aujourd'hui complètement enfouie sous les sables.

En résumé, la configuration générale des côtes du golfe du Lion remonte à l'origine de la période géologique actuelle. Le seul changement important qu'ait subi son contour extérieur a été déterminé vers la gauche par l'avancement du delta du Rhône sur un front de 60 kilomètres, et une largeur de 12 à 15 kilomètres en avant du cordon littoral primitif. L'action dominante des vents a été : sur la gauche celle des vents de terre, sur la droite celle des vents de mer. Les premiers ont favorisé le développement anormal du delta du Rhône, en repoussant à la mer les sables sur lesquels ce delta s'est assis. Ils ont en outre préservé de tout ensablement la grande lagune du Languedoc, dans toute la partie qui n'avait pas été directement atteinte par les atterrissements du Rhône.

Les vents du large ont au contraire refoulé vers la côte tous les sables apportés par les affluents secondaires, et les ont dispersés, sur les points les mieux abrités, en dunes plus ou moins puissantes, depuis celles qui se retrouvent à l'embouchure de l'Hérault jusqu'à celles qui bornent le littoral du Roussillon.

Le déplacement latéral des sables est loin d'avoir sur cette côte l'importance qu'on a cru devoir parfois lui donner ; il est uniquement déterminé par l'action de la composante longitudinale des vents du large en chaque point. Il paraît en conséquence se diriger dans des sens différents aux deux extrémités du golfe, et reste en tout cas entièrement indépendant de l'action du grand courant giratoire qui fait ou ferait le tour de la Méditerranée.

XXXVII.

Nous avons vu que les formations de l'appareil littoral étaient exclusivement composées de sables rejetés à la côte, après avoir été plus ou moins longtemps remaniés sur le plan incliné de la plage, dont nous avons limité la profondeur à 15 ou 20m. Cette dernière hypothèse n'a en réalité rien de rigoureux ; ce chiffre de 15 à 20m représente la distance verticale au-delà de laquelle l'action de la vague ascendante n'a plus assez de force pour soulever les sables. Le courant, bien que fort amoindri, doit se prolonger beaucoup plus bas, et déterminer la continuité de l'inclinaison des talus dans les dépôts sous-marins. Aux sables qui forment leur assise supérieure succèdent, dans l'ordre de leur densité, les limons et les vases, maintenus en suspension par le clapotement des vagues, transportés au large par les faibles courants de la surface.

Les courants marins proprement dits, les déplacements réguliers de grandes masses d'eau, dus à diverses causes physiques dont nous avons parlé comme ne pouvant produire le déplacement des sables littoraux, doivent exercer au contraire une grande influence sur le transport, aussi bien que sur le dépôt des limons.

Les vases du Rhône se retrouvent en mer par des profondeurs de 100m, à 10 et 15 kilomètres des cordons littoraux du delta. La dispersion doit se faire à de bien plus grandes distances encore, sur les fleuves qui ont conservé leur estuaire incessamment balayé par la puissante chasse des marées.

Ces formations sous-marines ne peuvent avoir aucune

importance agricole, malgré la valeur de leurs éléments minéraux. Elles représentent une richesse à tout jamais perdue pour les besoins matériels de l'humanité ; mais, au point de vue de la science géologique, elles ont un grand intérêt, et mériteraient d'être étudiées avec plus de détails.

Un élément essentiel du régime spécial de chaque cours d'eau serait sa puissance totale ou relative d'atterrissement, calculée sur la proportion plus ou moins grande de sédiments de toute nature qu'il entraine et jette finalement à la mer par ses embouchures.

Dans son *Traité d'hydraulique agricole*, M. Nadault de Buffon évalue à $0^m,002$ ou $0^m,003$ la proportion de limon que charrient moyennement les grandes rivières. Ce chiffre nous paraît exagéré pour la plupart, tout au moins comme résultat moyen.

Dans son intéressante monographie de la Garonne, M. Baumgarten ne porte le cube annuel de ses limons qu'à cinq millions de mètres, ce qui correspondrait à un mètre cube par hectare de bassin, à $0^m,00025$ par mètre cube d'eau. Ce résultat est probablement trop faible, car il ne nous paraît pas que M. Baumgarten ait tenu compte, dans son évaluation, des sables de fond, dont l'entrainement a lieu par simple glissement.

Sur le Rhône, des observations directes de M. Surell lui ont permis d'évaluer le produit annuel des sédiments du grand bras à un cube de 17 millions de mètres, qui, comme nous le verrons, correspond assez bien à un atterrissement de 17 hectares, sur une profondeur moyenne de 100^m.

Le cube total des limons entraînés par les deux bras serait de 21 millions, ce qui, pour un débit moyen de 54 milliards de mètres cubes et un bassin de 927 my-

riamètres carrés, représente 0m,0004 par mètre cube d'eau débitée et 2m,27 par hectare de bassin.

Le calcul a été fait beaucoup plus exactement pour la Durance, la rivière limoneuse par excellence. Les observations relevées avec soin sur le canal de Marseille, dont le débit annuel est de 300 millions de mètres cubes environ, ont donné un cube moyen de 600,000 mètres cubes de limons mesurés à l'état humide, se réduisant de moitié après dessiccation complète, soit très-exactement 0m,001 du volume des eaux. Ce résultat toutefois ne s'applique qu'aux eaux superficielles dérivées par le canal, et ne comprend pas les sables de fond, peu abondants dans la Durance.

Pour le delta du Pô, M. Lombardini trouve pour l'accroissement annuel du delta un cube de 40 millions de mètres, soit près de 6 mètres cubes par hectare de bassin, et 0m,0016 par mètre cube d'eau.

Sur le Mississipi, d'après M. Thomassy, l'avancement du delta se produirait à raison de 664 millions de mètres cubes, correspondant à un peu moins de 2 mètres par hectare de bassin, à environ 0m,0014 par mètre cube d'eau débitée.

Les dépôts du Nil s'opèrent en grande partie sur place dans toute l'étendue de la vallée et du delta, sans avancement notable de ce dernier. En comptant sur un exhaussement moyen de 0m,126 par siècle, pour une surface submersible de 5 millions d'hectares environ, on trouve un cube moyen de 60 millions de mètres cubes par an, soit environ 0m,20 par hectare, pour un bassin probable[1] de 300 millions d'hectares.

[1] Il est en réalité très-difficile d'apprécier même approximativement l'étendue du bassin du Nil. Non-seulement ses véritables limites ne

Comparés aux étendues totales des bassins d'approvisionnement, ces dépôts correspondent à une érosion variant de 1 à 6 mètres cubes par hectare, soit un abaissement moyen de 1 à 6^{m} en dix mille ans. Mais ce déblai général est loin d'être uniforme, il se produit surtout dans la région des montagnes, et plus encore dans les ramifications qui s'étendent à travers les terrains meubles diluviens qui s'appuient sur leurs flancs. Dans les pays de plaine, ainsi que l'a fort bien fait observer M. Élie de Beaumont, la surface du sol végétal ne subit pas de déperdition sensible. L'observation des monuments historiques les plus anciens démontre en effet que le plus souvent le niveau superficiel du sol n'a pas été altéré.

XXXVIII.

Nous avons vu que la majeure partie des limons entraînés par les fleuves étaient engloutis sans retour par la mer, et entraient dans la constitution de nouvelles formations géologiques qui nous resteront à tout jamais étrangères.

A cette catégorie devraient également se rattacher les substances solubles dans les eaux, dont la proportion très-

sont pas encore connues, mais il comprend d'immenses surfaces qui ne contribuent en rien à son débit. Les dernières explorations faites sur ce fleuve (*Voyage* de Baker) paraissent d'ailleurs avoir établi que les limons proviennent uniquement du Nil Bleu et des autres affluents descendus des montagnes et des plateaux de l'Abyssinie, dont le bassin ne représente pas plus de 40 millions d'hectares. Le volume annuel des dépôts correspondrait alors à 1^{m},50 par hectare du bassin alimentaire; mais il est bien évident que tous les limons ne s'arrêtent pas à la surface de l'Égypte et qu'une très-grande partie est entraînée dans la mer, sans que nous ayons des éléments suffisants pour en apprécier le volume total.

variable s'élève habituellement dans nos régions à $0^{gr},20$ ou $0^{gr},25$ par kilogramme d'eau, — composée pour les trois quarts au moins de carbonates et de sulfates de chaux.

Les sels notablement solubles, tels que le chlorure de sodium en particulier, se concentrent de plus en plus dans l'eau de la mer dont ils maintiennent la salure, compensant les pertes qu'elle doit éprouver de temps à autre par l'effet du retrait des eaux qui, à diverses reprises, lui a fait abandonner les plages salées dont nous aurons à parler (LXVIII). L'étude de la géologie générale nous indique en effet que, dès les époques les plus reculées, le chlorure de sodium du globe a dû se trouver en majeure partie réuni dans l'eau des mers, par suite de causes originelles qu'il n'entre pas dans notre cadre d'étudier aujourd'hui.

Les sels peu solubles, les sels de chaux surtout, se précipitent ou le plus souvent subissent une sorte de transformation organique, absorbés qu'ils sont par les êtres vivants, animaux ou végétaux, dont les dépouilles reproduisent lentement les terrains calcaires que les âges futurs verront surgir du sein de la mer.

Si, comme c'est assez probable, on ne peut attribuer qu'à un pareil genre de formation la production de la plupart des assises calcaires qui constituent les diverses couches géologiques de notre globe, on peut se faire une idée de la durée que chacune d'elles a dû nécessiter.

En supposant en effet que les eaux des rivières contiennent environ $0^{gr},20$ de sels calcaires par litre d'eau, et comptant sur une densité moyenne de 2 pour les formations résultantes, on trouve que chaque mètre de hauteur d'eau douce arrivant dans la mer peut produire une couche de $0^{m},0001$. En admettant que la couche d'eau pluviale soit en moyenne de 1^{m} à la surface des continents, que la moitié

seulement se rende à la mer, et qu'enfin la surface des continents ne soit que le quart de la surface totale du globe, la couche annuelle sur la surface totale des mers serait de 0m,000016, soit environ 1m de calcaire en soixante mille ans.

La formation totale des substances minérales rapportée à la même surface des mers, deltas compris, pour un apport moyen de 3 mètres cubes par hectare de continent, serait dans les mêmes conditions de 1m pour dix mille ans.

L'ensemble des deux formations ne représenterait pas plus de 1m en huit mille ans. Cette durée devrait cependant être réduite, si l'on voulait tenir compte des effets de désagrégation dus à l'action directe de la mer sur ses falaises, que nous ne saurions apprécier, mais qui est en somme peu considérable.

Notre but principal étant d'étudier les formations géologiques au point de vue de leur utilité agricole, nous avons tenu surtout à différencier, dans ce chapitre, le rôle tout opposé qu'ont joué les eaux courantes continentales et les eaux de la mer.

Les unes et les autres ont, de tout temps, par leur action mécanique, contribué à détruire, à disloquer et broyer les formations antérieures. Mais une différence essentielle existe entre leurs effets. Les eaux continentales, partout où elles ont pu librement déposer leurs alluvions, ont formé la majeure partie de nos sols cultivables, d'autant plus fertiles qu'ils provenaient d'un mélange plus complet. Les eaux de la mer, au contraire, sur tous les points où elles ont pu répandre ces débris, les ont soumis à un nouveau triage; n'ont en général rejeté sur les rives que les parties sablonneuses infertiles; ont enfoui tout le reste dans leurs profondeurs, pour donner lieu à de nouvelles formations

géologiques, simplifiées quant à leurs éléments constitutifs, agglutinées par un ciment organique ou calcaire, entièrement impropres par elles-mêmes à toute végétation, ne pouvant jouer d'autre rôle que celui de fournir les éléments d'un nouveau mélange, de nouvelles alluvions, aux courants d'une autre période géologique.

On dirait que, dans l'ordre des choses purement matérielles aussi bien que dans celui de la vie organique, un principe de mort se trouve toujours en présence d'un principe de vie, l'un reconstituant sans cesse ce que l'autre a détruit.

La mer serait, comme une vaste nécropole, un champ de repos dans lequel tous les éléments de la nature inorganique iraient tour à tour se retremper, en attendant d'être appelés à jouer de nouveau leur rôle dans le cycle infini de la vie et de la matière.

Les grands courants diluviens qui, à diverses époques plus ou moins rapprochées, plus ou moins périodiques, ont bouleversé la surface du globe, seraient surtout chargés de renouveler la matière féconde et assimilable, entrainant dans la mer les débris épuisés des formations végétales antérieures, pour leur en substituer de nouvelles, vierges et fertiles, arrachées aux plus profondes entrailles du globe, jusque-là inertes et impuissantes.

Les fleuves, tels que nous les voyons sillonner la surface des continents, auraient, sur une moindre échelle, un rôle analogue. Par leur action lente et réparatrice, ils continueraient et compléteraient l'œuvre des courants diluviens pendant toute la durée d'une période géologique; ils compenseraient en partie et dans de certaines limites les pertes incessantes de la vie. Ainsi se trouveraient justifiées ces aspirations intuitives de l'humanité, qui, à l'origine de

toutes les civilisations, nées pour la plupart à l'embouchure ou sur le bord des grands fleuves, a constaté cette action fécondante, en a poétisé et divinisé les effets.

Sans nous arrêter plus longtemps sur un ordre d'idées étranger aux études pratiques qui nous occupent, nous complèterons par un dernier exemple l'analyse des procédés suivant lesquels opèrent sous nos yeux les agents naturels. Il nous restera à voir ensuite comment et dans quelles limites on pourrait en diriger et en modifier les forces, au lieu de chercher à les combattre brutalement, comme on n'a été malheureusement que trop porté à le faire jusqu'ici.

CHAPITRE VI

CONSIDÉRATIONS PARTICULIÈRES SUR LE DÉVELOPPEMENT DU DELTA DU RHÔNE.

XXXIX.

Bien des causes naturelles, sans compter la main de l'homme, ont pu modifier les dispositions générales que nous avons indiquées dans le chapitre précédent, sur la formation des deltas. Mais on retrouve toujours la trace des formes primitives, et nous ne pourrions mieux faire, pour nous rendre compte des modifications qu'elles peuvent parfois subir, que de prendre un cas particulier, celui du delta du Rhône, dont nous avons l'exemple sous les yeux. Cette étude a déjà été faite, avec la supériorité qui s'attache à tout ce qu'il traite, par M. Élie de Beaumont. En la reprenant dans ses moindres détails, nous ne pourrions choisir un guide plus sûr, et nous trouverons peut-être à glaner, après cet éminent géologue, quelques observations nouvelles qui viendront à l'appui des principes que nous avons formulés jusqu'ici.

Dans l'état actuel, le Rhône a sa bifurcation un peu en amont d'Arles. Ses deux bras enserrent une grande île, la Camargue, dont les berges inclinées s'abaissent vers l'étang central du Valcarès. Cet étang est séparé de la mer par un étroit cordon littoral, que les flots franchissaient encore,

avant qu'on l'eût tout récemment renforcé par une digue insubmersible qui complète la clôture de l'île.

Le bras principal est celui de gauche, passant au-devant d'Arles, qui, en étiage comme en temps de crue, débite la majeure partie des eaux. Sur la rive de ce bras opposée à la Camargue s'étend la plaine latérale de la rive gauche, portant le nom de plan du Bourg, dont le sol, conformément à notre théorie, s'abaisse de plus en plus à mesure que l'on s'éloigne de la berge pour se rapprocher des talus de la Crau, limitant l'ancien estuaire. Au pied de ces talus règne une suite de marais qui se prolongent en amont d'Arles dans la vallée des Baux, bas-fond compris entre la formation diluvienne de la Crau et les coteaux de la chaine des Alpines.

Le petit Rhône passe à Saint-Gilles et débouche dans la mer près des Saintes-Maries. La plaine latérale qui s'étend sur la rive droite jusqu'aux coteaux de Saint-Gilles, et les déborde même vers le sud, en se prolongeant jusques à Aigues-Mortes et à l'embouchure du Vidourle, présente une pente latérale assez bien caractérisée à partir du Rhône; mais sa pente longitudinale est loin d'être régulière, elle se trouve interceptée en divers points par des dunes transversales, fragments d'anciens cordons littoraux dont nous avons déjà décrit (XXXVI) la formation successive.

Nous manquons de documents précis qui nous permettent de suivre les diverses transformations qu'a dû subir le delta du Rhône; mais, des changements qui se sont produits dans l'époque moderne, nous pouvons logiquement déduire l'ordre et la marche de ceux qui les ont précédés.

La branche d'Arles est aujourd'hui la plus importante; elle l'était déjà sous la domination Romaine. La branche de

Saint-Gilles, dont l'embouchure dépasse à peine l'emplacement des Saintes-Maries, localité dont l'origine est fort ancienne, ne paraît pas avoir produit d'atterrissements appréciables pendant la durée de l'ère chrétienne. Antérieurement aux temps historiques, cette branche occidentale a eu cependant une influence prédominante, car c'est à ses atterrissements qu'on doit attribuer la formation d'une partie de la Camargue et de la vaste région marécageuse qui, s'étendant de Saint-Gilles à la mer, se prolonge à l'ouest jusqu'à l'étang de Mauguio.

A l'origine de la période géologique, un premier cordon littoral dut se former à l'entrée de l'estuaire, en continuation de ceux qui règnent sur la côte du Languedoc. Une amorce puissante de cet appareil littoral, la Sylve godesque, large formation de dunes s'étendant entre les étangs de Scamandre et de Leyran, à 15 kilomètres de la mer, est encore en place dans les plaines basses de la rive droite ; mais il n'en subsiste que des traces peu visibles et difficiles à relier entre elles dans la traversée de la Camargue et dans le plan du Bourg. Il est même probable que ce cordon littoral ne s'est jamais soudé à la côte de Provence. Son épaisseur allait en diminuant, depuis son attache de droite jusqu'au point où il s'arrêtait, vers la gauche, à une certaine distance du cap Couronne. Cette différence s'explique assez bien par l'action des vents régnants. Les vents de sud-est, qui repoussent les sables, les auront refoulés de préférence vers l'extrémité droite de l'estuaire, où ils se trouvaient d'ailleurs protégés par les coteaux de Saint-Gilles contre l'action du vent dominant de terre qui, à Beaucaire et à Arles, souffle plein nord pendant 160 jours de l'année. On conçoit dès-lors que de véritables dunes se soient formées entre Saint-Gilles et l'emplacement d'Aigues-Mortes; tandis

qu'au centre et à l'est de l'estuaire, il n'a pu se produire que de simples cordons linéaires, qui, rompus plus tard par le fleuve, recouverts d'alluvions fluviales, ont perdu tout caractère de continuité et ne figurent plus que par taches éparses sur la belle carte géologique du département du Gard de M. Émilien Dumas.

L'existence originaire de ce premier cordon littoral n'en est pas moins certaine, et sa courbe idéale bien qu'interrompue, devait rattacher la Sylve godesque à la pointe du cap Couronne.

Ainsi s'est trouvé limité le champ dans lequel se produisirent les premiers atterrissements du Rhône, qui ne devaient s'étendre que sur les marais de Scamandre et de Saint-Gilles, les trois cinquièmes environ de la Camargue et la moitié au plus du plan du Bourg.

Cette première enceinte comblée, le fleuve franchit le cordon littoral par son bras principal, alors le petit Rhône, déterminant en mer un promontoire qui servit d'attache aux trois cordons littoraux successifs qui ont, l'un après l'autre, réuni au continent les étangs de Leyran, de la Ville et du Repausset.

L'ensemble de cette formation, en avant de la Sylve godesque, comprise entre le golfe d'Aigues-Mortes et l'étang de Valcarès sur 25 kilom. de longueur et 15 kilom. de profondeur moyenne, représente une superficie de 35 à 40,000 hectares d'atterrissements qui ont été produits par le petit Rhône. Nous reviendrons encore une fois sur les détails probables de leur formation, lorsque nous aurons vu comment se comporte le grand Rhône, qui opère aujourd'hui à l'est, ainsi que le petit opérait à l'ouest dans ces temps reculés.

XL.

Au commencement du XVIII^e siècle, le grand bras du Rhône avait une embouchure très-différente de celle qu'il a aujourd'hui. Il suivait, à partir de Chamone, le tracé indiqué sur les cartes sous le nom de vieux Rhône, ou canal du Japon, qui venait déboucher à l'ouest de l'étang Giraud près du phare de Faraman. La distance de Chamone à la mer, suivant cette direction sinueuse, était de 25 kilomètres au moins, tandis que 7 kilomètres à peine séparaient à vol d'oiseau le même point de départ du grau de l'Eysselle, existant sur la plage près de l'emplacement actuel de la tour Saint-Louis.

En vue d'isoler des salines qui se trouvaient à la pointe de la rive gauche du Rhône dans le voisinage des étangs de Giraud et de Faraman, les employés des gabelles ouvrirent, en 1711, suivant cette dernière direction, une étroite rigole, le canal des Lônes.

Le Rhône, trouvant cette voie plus courte, ne tarda pas à s'y transporter en entier, délaissant à l'ouest, entre l'ancien et le nouveau lit, une grande île qui a conservé le nom du plan du Bourg, dont elle avait été brusquement détachée.

L'abandon définitif du canal du Japon, commencé en 1711, paraît n'avoir été complet qu'en 1722. Nous pouvons suivre depuis cette époque la marche continue des atterrissements du grand Rhône. Son embouchure, qui se trouvait à la tour Saint-Louis, bâtie en 1734 sur l'emplacement de l'ancienne plage, en est aujourd'hui distante de 8 kilomètres environ, ce qui représente un avancement annuel de 56^m environ.

Cette manière d'évaluer la puissance d'atterrissement par

le déplacement linéaire de l'embouchure, nous paraît toutefois moins exacte que celle qui consisterait à relever les surfaces émergées. Nous avons obtenu un point de départ sensiblement concordant, en rapportant à une même échelle et comparant entre elles la carte géologique de M. Dumas, qui donne l'état des embouchures en 1850, et deux cartes jointes à l'ouvrage de M. Surell, l'une de Danville, l'autre de Noël d'Advisard, indiquant l'état des lieux en 1706 et 1712, antérieurement à l'ouverture du canal des Lônes. Cette comparaison n'a sans doute rien de bien précis, car l'emplacement des habitations servant de repères fixes n'est pas toujours également bien indiqué sur les anciennes cartes. Quoi qu'il en soit de cette cause d'erreur, dont il ne faudrait pourtant pas s'exagérer l'importance, nous trouvons que de 1712 à 1850, en cent trente-huit ans, le delta du Rhône aurait gagné sur la mer 3,225 hectares aux environs de son embouchure actuelle, mais que par contre il en aurait perdu 1,254 au voisinage de l'ancienne bouche du canal du Japon, ce qui donne pour l'année moyenne un gain relatif de $23^{h},5$, un gain absolu de $14^{h},5$.

Il ne serait pourtant pas exact de considérer comme entièrement perdue pour l'avancement réel du delta la surface démolie à l'ancienne embouchure.

La destruction de cette pointe avancée par l'action des vagues n'a été, en fait, qu'un remaniement des dépôts qui ont pris une position plus stable. Les anciens talus, incessamment rechargés par de nouveaux matériaux, avaient dû conserver à l'origine une inclinaison plus raide que celle qui convient à un équilibre durable. Ils se sont affaissés sur place, les limons ont été engloutis, mais la majeure partie des sables transportés parallèlement à la côte par l'effet des vents régnants de sud-est, ont été refoulés vers l'ouest et

ont agrandi d'autant l'appendice inférieur de la Camargue. La comparaison des anciennes et des nouvelles cartes indique en effet, postérieurement à 1712, un avancement très-marqué des plages environnant l'étang de Bauduc. Nous manquons de documents précis qui nous permettent d'évaluer rigoureusement l'étendue de cette formation ; mais nous pourrons, sans trop grandes chances d'erreur, admettre qu'elle représente au moins le quart de la surface remaniée, ce qui, toutes compensations faites, porterait à 17 hectares environ le gain annuel du delta du Rhône pendant la dernière période séculaire.

Les dépôts du Rhône se retrouvent en mer à de très-grandes distances, jusqu'à des profondeurs qui paraissent atteindre 100^m. On peut donc considérer la surface émergée annuellement comme formant la section d'un talus prismatique qui se rechargerait parallèlement à lui-même sur une hauteur de 100^m. Le cube correspondant de 17 millions de mètres se trouve égal à celui qui a été déjà donné par M. Surell pour le volume total des dépôts formés chaque année par le grand Rhône, sans compter les sédiments entraînés par le petit Rhône et ceux qui peuvent se déposer dans les parties de la vallée supérieures au delta.

Cet atterrissement annuel de 17 hectares pour la dernière période séculaire est, comme on devait s'y attendre, un peu inférieur à la moyenne de la formation du delta total. Sa surface de 140,000 hectares correspondrait en effet à un gain annuel de 23 hectares pour une durée probable de six mille ans, habituellement assignée à la période géologique actuelle.

XLI.

L'effet produit depuis un siècle et demi ne peut que se continuer. Le canal des Lônes, qui s'est déjà allongé de 8 kilomètres au-delà de la tour Saint-Louis, finira par prendre un développement exagéré, analogue à celui qu'avait le bras du Japon au commencement du XVIII[e] siècle. Les mêmes causes amèneront les mêmes résultats, et le Rhône, se jetant de droite ou de gauche, rejoindra la mer par une voie plus courte, en abandonnant le canal actuel. Des documents positifs prouvent qu'il en a toujours été ainsi. Le canal du Japon n'avait pas fonctionné plus d'un siècle. La carte géologique nous montre à côté de lui le bras du Canalet, abandonné en 1627, qui lui-même avait remplacé à une époque inconnue la Lône du jeu de Mail, dont le grau existait encore en 1591. Tous ces divers canaux, qui successivement ont porté les alluvions du Rhône sur différents points du périmètre de son delta, ont leur point de diramation au même lieu, à la courbe de Chamone, d'où est également parti le canal actuel des Lônes. C'est encore du même point que se détachera le nouveau bras, qui tôt ou tard portera les sédiments du Rhône en quelque point de la mer plus rapproché que ne l'est son embouchure actuelle. Il suffit d'avoir vu sur les lieux les érosions qui se produisent à chaque crue sur la rive droite dans la grande courbe de Chamone, en dépit de tous les perrés par lesquels on s'efforce de maintenir les rives du fleuve, pour comprendre que, le moment où il s'ouvrira, une nouvelle issue dans cette direction ne saurait être très-éloigné.

Cette diramation constante autour d'un même point des divers canaux qui ont formé le large éperon prolongeant

la Camargue au sud-ouest, entre le golfe de Fos et celui des Saintes-Maries, n'est pas un fait unique et accidentel. Pareil phénomène s'est produit dans les temps anté-historiques pour les atterrissements du petit Rhône, sur lequel nous retrouvons à Sylveréal un centre de diramation secondaire analogue à celui de Chamone. De ce point ont dû successivement partir les divers bras qui, d'Aigues-Mortes aux Saintes-Maries, ont formé l'épais massif des atterrissements de l'ouest, s'étendant au sud de la Sylve godesque, cette première station de l'appareil littoral.

La formation qui se produit aujourd'hui, en rayonnant autour du centre de Chamone, est complétement identique dans sa cause et dans ses effets. Elle a déjà produit un atterrissement d'une superficie totale de plus de 25,000 hectares, qui, à raison de 17 hectares par an, représente une durée de quinze siècles. A l'époque de la domination Romaine, le grand bras du Rhône ne devait très-probablement pas dépasser la parallèle de Chamone.

Rien n'indique d'ailleurs que le phénomène qui s'est produit depuis lors, et qui a eu pour conséquence la formation de ce vaste rectangle s'étendant au sud de Chamone entre le golfe de Fos et celui des Saintes-Maries, ne soit pas appelé à se continuer longtemps encore. La ligne horizontale qui termine aujourd'hui sur les cartes cet appendice du delta, n'a rien d'arbitraire ; elle est le prolongement naturel de la côte de Provence qui s'étend de l'est à l'ouest entre le méridien de Marseille et le cap Couronne. C'est elle qui détermine la direction générale du courant des vagues, qui, pour le moment, limite vers le sud la zone des atterrissements. Cette zone ne se prolongera probablement pas au-delà de longtemps ; mais elle peut, elle doit nécessairement s'étendre de droite et de gauche, soit sur l'empla-

cement du golfe de Fos à l'est, soit sur celui du golfe des Saintes-Maries à l'ouest.

XLII.

Envisagée à ce point de vue, l'extension constante du delta du Rhône a une importance capitale, trop négligée jusqu'ici, peut-être, dans la question des embouchures.

Le lit du grand Rhône, sur plusieurs points de son parcours, à partir de la bifurcation principale et plus particulièrement sur l'étendue du nouveau canal des Lônes, en amont comme en aval de la tour Saint-Louis, forme un magnifique bassin, large et profond, bien abrité, qui constituerait un port intérieur des plus commodes et des plus sûrs s'il était abordable aux navires. Mais toute entrée leur est malheureusement fermée par la barre qui se maintient constamment en avant de l'embouchure et s'avance avec elle à mesure que le chenal s'étend davantage dans la haute mer.

La formation de la barre est due à un phénomène général facile à comprendre. Les sables de fond, ne pouvant être entraînés que par un courant puissant, s'arrêtent au contact des eaux tranquilles de la mer, s'orientant suivant leur direction de plus grande résistance, présentant au courant affaibli du fleuve un obstacle qu'il ne saurait vaincre directement.

Les eaux sont rejetées sur les côtés, divisées en deux courants qui, agissant latéralement sur les sables de la barre, éprouvent une moindre résistance de leur part et donnent lieu à deux passes plus ou moins profondes. La barre elle-même s'exhausse, finit par émerger, présentant une surface sensiblement horizontale, éminemment propre à faciliter le dépôt des alluvions limoneuses qui se super-

posent aux sables et constituent une de ces innombrables îles basses qui, après chaque tempête, surgissent aux embouchures du Rhône, où elles portent le nom de *theys*.

Les deux passes primitives de la barre, après sa fixation, deviennent de véritables embouchures à l'issue desquelles se forment de nouvelles barres. L'une d'elles, celle dont la direction est la plus oblique par rapport au courant général, finit habituellement par s'atterrir. L'île primitivement formée est définitivement réunie à la berge correspondante. Ainsi s'avancent progressivement les deux rives du fleuve, chacune d'elles étant formée d'une suite d'îles successivement soudées l'une à l'autre, formant une plage basse, continue, que des alluvions limoneuses relèvent et élargissent peu à peu.

Le problème des embouchures du Rhône, le moyen d'obvier à l'obstacle que la passe mobile oppose à la navigation, sont en discussion depuis plus de vingt siècles. Deux cents ans avant l'ère chrétienne, Marius désirant assurer une entrée facile aux navires chargés d'approvisionner son armée, fit ouvrir une dérivation latérale qui, partant du Rhône en amont de Chamone, venait déboucher au pied des collines de gauche, près de l'emplacement actuel du village de Fos, qui en a conservé le nom (*Fossæ Marianæ*). Moins heureux que le canal analogue que, deux siècles plus tard, Civilis fit ouvrir pour déverser une partie des eaux du Rhin dans le Zuyderzée, et qui est resté une des branches principales de ce fleuve, le Rhône artificiel de Marius s'est atterri, et il n'en subsiste plus que quelques vestiges débouchant, sous le nom de bras mort, dans l'étang de Galejean.

Depuis lors, la question n'a cessé d'être à l'étude, et il y a une vingtaine d'années, trois projets furent mis en parallèle :

l'un pour attaquer directement la barre en endiguant le lit du Rhône et fermant ses passes secondaires ; le second pour rétablir à peu près l'œuvre de Marius, par l'ouverture d'un canal maritime dans la direction du bras mort; le troisième, enfin, pour construire un canal maritime beaucoup plus court, suivant à peu près le tracé de l'ancienne plage de 1711, à partir de la tour Saint-Louis, et venant déboucher dans le golfe de Fos.

Le premier projet obtint la préférence : des résultats très-favorables avaient été obtenus de l'endiguement sur diverses rivières de la Grande-Bretagne. On pensa qu'il en serait de même sur le Rhône, sans tenir un compte suffisant de la différence essentielle qui devait résulter de l'action des marées produisant sur l'Océan une double chasse journalière. Les travaux coûteux de l'endiguement du Rhône n'eurent d'autre résultat que d'accélérer le mouvement qu'on voulait combattre. La barre, momentanément enlevée par la plus grande impulsion du courant, se reproduisit plus loin et plus infranchissable que jamais.

XLIII.

L'impossibilité de vaincre directement l'obstacle bien démontrée par cette expérience, on est revenu à l'idée du canal Saint-Louis, dont les travaux s'exécutent en ce moment.

Le golfe de Fos, qui limite à l'est l'appendice moderne du delta du Rhône, présente une rade assez sûre, abritée par les collines qui forment la ceinture de l'étang de Berre et les atterrissements du Rhône lui-même qui l'isolent de plus en plus vers le sud-ouest. Ce golfe est d'ailleurs à l'abri des courants dérivés de l'action du flot, qui ne peuvent y porter les sables charriés du large ; aussi a-t-il

conservé sa profondeur, qui n'a pas moins de 25 à 30m à l'entrée, de 10 à 15 en son milieu.

Sa rive occidentale, plus particulièrement abritée par le promontoire du Rhône, a reçu le nom d'anse du Repos. Elle n'est qu'à une distance de 5 kilomètres de la tour Saint-Louis, et l'idée s'est naturellement présentée d'ouvrir, suivant cette direction, un canal maritime qui, partant du bassin du Rhône, viendrait déboucher dans un nouveau port aisé à construire dans l'anse du Repos.

Ce projet avait en lui-même quelque chose de séduisant, et nous ne devrons pas nous étonner qu'il ait fini par triompher et reçu un commencement d'exécution.

Une ville nouvelle est destinée à compléter l'œuvre du canal maritime. En communication directe, par des voies navigables, avec tout le bassin d'un magnifique fleuve accessible aux plus gros navires ; relié à un vaste réseau de chemins de fer, le port intérieur de Saint-Louis paraîtrait appelé à devenir avant peu un des grands centres industriels et commerciaux de la Méditerranée. Il est malheureusement fâcheux que les avantages de la position choisie ne reposent pas sur une base suffisamment durable, ainsi que nous allons essayer de le démontrer.

Le golfe de Fos, l'anse du Repos, l'étang du Gloria, que doit traverser le canal Saint-Louis, sont autant de créations récentes, qui ne sont dues qu'à la déviation du Rhône opérée en 1711. Avant cette époque, la côte se prolongeait en ligne droite de la tour Saint-Louis à Fos, librement battue par tous les vents de mer, sans golfe, sans abri.

C'est aux atterrissements du Rhône, qui en peu d'années ont dessiné les contours actuels du golfe de Fos et de l'anse du Repos, qu'on doit l'idée première du canal Saint-Louis.

C'est à la continuation du même phénomène qu'on en devra tôt ou tard la destruction. Une nécessité fatale d'un cours d'eau semblable, qui jette tous les ans à la mer 17 millions de mètres cubes de sables et de limons, est de changer incessamment son embouchure, car il ne saurait indéfiniment la prolonger à raison de 8 kilomètres en moins d'un siècle et demi.

Le maintien de l'embouchure dans la direction actuelle, quand bien même la chose serait possible, ne saurait être une garantie, car elle finirait naturellement par atteindre la côte de Provence, aux abords du cap Couronne. Le golfe de Fos, de mieux en mieux clos et abrité, deviendrait, à la longue, un étang fermé, sans profondeur, dans lequel s'entasseraient les sables et les vases, dans les conditions où se trouvent aujourd'hui les étangs de Galejean, du Gloria et tant d'autres qui, du temps de la domination Romaine et même bien après, faisaient certainement partie du domaine de la mer.

Il serait même possible de calculer dans combien de temps serait obtenu ce résultat final, non en comparant l'avancement annuel du fleuve à la distance qui sépare l'embouchure actuelle du cap Couronne, mais en mettant en regard les atterrissements qui se sont produits et ceux qui seraient nécessaires pour combler le golfe de Fos. La surface des premiers a atteint 3,225 hect. en cent trente-huit ans; il ne faudrait donc pas plus de quatre cents ans pour atterrir le golfe, qui, limité par la ligne idéale prolongeant la côte sud du delta jusqu'au cap Couronne, n'a pas plus de 10,000 hectares.

On nous objecterait vainement que le courant littoral, et nous avons vu ce qu'on devait entendre sous ce nom, ne porte pas les sédiments du Rhône dans le golfe de Fos, mais

les rejette vers l'ouest. Nous l'admettons : ce ne sera pas le déplacement latéral des sables qui comblera le golfe de Fos, mais le Rhône lui-même, qui en a déjà atterri le quart en un siècle et demi, qui achèverait de combler le reste en quatre cents ans, s'il était indéfiniment maintenu dans sa direction actuelle.

Cette hypothèse, il est vrai, est fort heureusement aussi peu probable qu'elle serait désastreuse pour les intérêts généraux de cette partie des côtes de Provence, car la conservation du golfe de Fos n'intéresse pas seulement l'avenir du port Saint-Louis, mais celui de Bouc, des Martigues, du magnifique bassin intérieur de l'étang de Berre, qui est sans doute destiné à former tôt ou tard une vaste rade de refuge autrement sûre que l'anse du Repos.

Cet atterrissement total ne se produira pas, car, malgré les digues entre lesquelles on l'a muraillé, il n'est pas dans l'ordre des choses naturelles que le canal des Lônes serve longtemps encore de débouché au Rhône. Cette branche sera avant peu abandonnée, comme l'a été le canal du Japon en 1711, comme l'ont été, avant lui, le bras du Canalet, celui de Mail et beaucoup d'autres sans doute, dont on pourrait peut-être retrouver les vestiges enfouis sous les vases de la grande formation qui se continue, de nos jours, au sud-est de la Camargue.

Une nouvelle dérivation se produira donc, et, comme toutes les précédentes, elle aura son origine au point de diramation générale de Chamone. L'état des lieux, nous l'avons déjà dit, indique comme imminente en ce point une irruption du Rhône à travers les digues de sa rive droite. Quelle que soit la nouvelle direction du fleuve au delà; qu'il aille se jeter dans l'anse qui forme le fond du golfe des Saintes-Maries, ou que, prenant plus probablement

une direction intermédiaire entre les deux anciens bras du Canalet et du Mail, il se fraie un passage à travers l'étang Giraud; dans toutes les hypothèses, le résultat sera le même pour le lit actuel du Rhône : abandonné pour une voie plus courte, il sera promptement atterri comme l'a été le canal du Japon.

Le port Saint-Louis, construit en aval du point de diramation, sur un magnifique bassin désormais isolé du Rhône, n'aura plus de raison d'être. Un canal maritime maintenu à grands frais, une nouvelle écluse construite à Chamone, pourront peut-être rétablir les communications avec le Rhône, mais ne lui rendront pas son beau port, à tout jamais perdu.

XLIV.

Une solution paraîtrait possible de prime abord : celle de ne pas attendre la déviation naturelle du Rhône en amont du port Saint-Louis, en lui ouvrant une issue artificielle en aval, à travers les salins de l'étang Giraud, par exemple. Mais on reconnaît bien vite que cet expédient ne serait qu'un palliatif de peu de durée. Avancé comme il l'est déjà vers le sud, le delta ne saurait, sur ce point, se prolonger beaucoup au-delà de sa base générale déterminée par le prolongement de la côte de Provence.

Le Rhône opère sans relâche un travail de comblement dont rien ne saurait arrêter la marche naturelle. Il faut qu'il trouve toujours au-devant de lui un espace libre pour déposer ses sédiments. Les portant alternativement de droite et de gauche, il les répartit avec une inflexible uniformité, et procède par zones régulières, abandonnant les parties terminées, pour reprendre son œuvre sur un autre point.

La bande rectangulaire comprise entre les golfes des Saintes-Maries et de Fos, qui représente le travail probable de quinze à vingt siècles, ne saurait se continuer davantage en avant; il est indispensable qu'elle s'élargisse vers l'est ou l'ouest, au détriment des deux golfes, qui sont destinés à disparaître l'un et l'autre. En déviant le fleuve à l'ouest, on pourra, sans doute, préserver longtemps encore le golfe de Fos. Son comblement peut être ajourné de dix ou quinze siècles peut-être; mais ce qui ne saurait être évité, c'est l'atterrissement du bassin actuel de la tour Saint-Louis. Qu'il soit fermé par l'aval ou par l'amont, sa destruction est certaine, en moins de quatre siècles dans le premier cas, avant un siècle ou deux dans la seconde hypothèse, qui est la plus probable.

Comme mesure transitoire, l'ouverture du canal maritime en construction est une œuvre utile aux besoins du moment, qui peut avoir sa raison d'être ; mais l'installation, aux environs mêmes de la tour Saint-Louis, d'établissements industriels ou commerciaux considérables, devant avoir une existence durable, serait une entreprise regrettable, dont il est aisé de prédire la ruine à un demi-siècle près.

Pour garantir à la nouvelle ville une existence de quelque durée, il faudrait la transporter à Chamone même, ou en amont. Comme tous les autres bras du Rhône, le canal maritime devrait avoir son origine en ce centre commun de divergence. Cette modification dans le projet approuvé aurait d'autant moins d'inconvénients que les difficultés de terrain que paraît rencontrer l'établissement de l'écluse de garde à Saint-Louis seraient, croyons-nous, beaucoup moindres à Chamone.

Le résultat négatif auquel nous sommes arrivé, en ce

qui concerne l'emplacement choisi pour le point de départ du nouveau canal maritime des embouchures du Rhône, nous paraît une preuve convaincante de l'importance et de l'utilité pratique que peuvent avoir en bien des circonstances les études auxquelles nous nous sommes livré, sur les règles fixes et les lois générales qui président à la formation des nouveaux terrains géologiques à l'embouchure des fleuves.

Trois projets étaient en présence pour l'amélioration des embouchures du Rhône, il y a vingt-cinq ans. L'endiguement direct a été préféré, on en connaît les résultats. Le canal Saint-Louis est en cours d'exécution, et ne sera peut-être pas achevé avant qu'une brusque et inévitable déviation du Rhône le rende inutile, si l'on ne se hâte de reporter son origine au point que nous indiquons.

Après de longs et coûteux tâtonnements, qu'une étude théorique approfondie aurait permis d'éviter, on risque de se voir forcément ramené à la combinaison primitivement écartée.

XLV.

Nous ne saurions songer à étudier avec les mêmes détails que pour le delta du Rhône, les formations analogues existant à l'embouchure des principaux fleuves du globe; le temps, et plus encore les documents topographiques et historiques, nous manqueraient pour ce travail. Il serait, d'un autre côté, téméraire de notre part de vouloir, d'un seul cas particulier, déduire des conséquences et des lois trop générales. Parmi les observations particulières que nous avons eu occasion de faire sur le Rhône, il en est cependant qui nous paraissent pouvoir servir de point de départ à d'utiles comparaisons.

Nous avons vu que la marche du delta du Rhône, dans son attaque en pleine mer, en dehors du cordon littoral qui limitait primitivement l'estuaire, a présenté deux périodes distinctes. Il a successivement accru sa formation première de deux appendices, l'un sur l'aile droite à l'origine, l'autre sur l'aile gauche dans les temps modernes. Des deux parts, l'avancement paraît s'être fait par rayonnement autour d'un centre de diramation unique, qui serait Sylveréal pour la rive droite, Chamone pour la rive gauche.

Une circonstance nous frappa lorsque, pour la première fois, nous fîmes cette observation : l'emplacement de ces deux centres de rayonnement, qui paraissaient se trouver tous deux un peu en aval de la ligne du cordon littoral débordé.

Il était intéressant d'étudier si des faits analogues ne s'étaient pas produits ailleurs. Nous n'avions malheureusement à notre disposition aucune carte assez détaillée qui nous permît de suivre les déplacements successifs des embouchures d'un autre delta, comme nous avions pu le faire sur celui du Rhône, grâce à la belle carte géologique de M. É. Dumas.

Nous avons toutefois trouvé dans les *Annales des Ponts-et-Chaussées* deux intéressants mémoires de M. Comoy et de M. Baumgarten, qui nous ont fourni de très-utiles indications sur le delta du Pô.

La marche des alluvions de ce fleuve a été à peu près la même que celle des alluvions du Rhône, à partir de son point de bifurcation principale, aux environs de Ferrare. Il a successivement développé : son aile droite, à l'origine, par l'ancien Pô de Primaro, correspondant au petit Rhône; son aile gauche, dans les temps modernes, par le bras actuel de Seravalle ou de Venise.

Nous n'avons aucune donnée sur l'étendue et le mode successif de formation des dépôts de l'aile droite du Pô. Ils paraissent s'être arrêtés d'ailleurs avant d'avoir franchi le cordon littoral qui sépare de l'Adriatique la lagune de Comacchio. Il en est tout autrement des atterrissements de l'aile gauche, qui sur divers points ont envahi le domaine de la mer. Le Pô actuel de Seravalle ne parait pas avoir existé avant le XII[e] siècle. Il résulta d'une brèche qui s'ouvrit dans les digues de la rive gauche, en 1152. Dès le XV[e] siècle, cette coupure avait absorbé toutes les eaux, et constituait en fait l'unique lit du fleuve, qui, à partir de Seravalle, se divisait en deux branches : celle de droite connue sous le nom de Pô de Goro, celle de gauche sous celui de Pô de Fornacci. En examinant la carte des embouchures jointe au mémoire de M. Baumgarten (*Annales des Ponts-et-Chaussées*, 1847, 1[er] semestre), on reconnait que chacune de ces deux branches secondaires ne tarda pas à présenter des dérivations nombreuses à partir de deux centres de divergence qui se trouvaient être précisément les coupures de la dune littorale. Il se forma ainsi, dans une période de temps relativement très-courte, deux appendices considérables, analogues, bien que sur une plus petite échelle, car ils se sont développés en bien moins de temps, à ceux qui caractérisent le delta du Rhône. L'aile gauche de ces atterrissements s'étant avancée d'une manière inquiétante vers le nord, avait fortement compromis l'existence des ports de la côte vénitienne. Pour les mettre à l'abri d'un désastre et préserver les lagunes elles-mêmes, la République de Venise, au commencement du XVII[e] siècle, ouvrit au fleuve un nouveau canal venant déboucher par une voie plus courte dans le golfe de Goro, enchâssé à cette époque entre les atterrissements latéraux

du delta, comme le golfe des Saintes-Maries entre les deux appendices de la Camargue. Cette branche artificielle, appelée le Pô Grande, est à son tour devenue principale, et dans un travail de deux siècles et demi elle a non-seulement comblé l'ancien golfe de Goro, mais débordé sur les deux ailes latérales.

Un travail analogue, mais beaucoup moins rapide, se produirait aujourd'hui, si, en vue de préserver le golfe de Fos et les ports adjacents de Bouc et des Martigues d'un envasement plus ou moins prochain, on ouvrait entre Arles et Chamone une nouvelle issue au grand Rhône vers le golfe des Saintes-Maries, à travers le Valcarès. La coupure de ce nouveau bras dans le cordon littoral de la Camargue, analogue au *Taglio de Contarina* sur le Pô, formerait un nouveau centre de rayonnement, à partir duquel divergeraient toutes les nouvelles embouchures du Rhône. Le centre de Chamone serait abandonné, comme le sont aujourd'hui les centres correspondants de Fornacci et de Mesola dans le delta du Pô de Venise.

Le nouvel exemple que nous venons de citer nous paraît donc permettre de poser comme une règle générale le principe suivant : *Lorsqu'un fleuve, après avoir comblé son estuaire primitif, débouche dans la mer, ses atterrissements ont une tendance naturelle à diverger autour de centres de diramation secondaires, qui ne sont autre chose que les coupures de l'ancien cordon littoral.* La résistance particulière que doit offrir la digue de ce cordon littoral, même lorsqu'elle est enfoncée sous les vases, comme sur le Rhône à Chamone, rend les causes de cette loi trop évidentes pour qu'il n'eût pas été possible de la déduire de simples raisonnements, si nous n'y avions été conduit par l'observation des changements successifs qu'ont

subis les deux deltas, dont l'histoire nous est la mieux connue.

Appliquée à l'étude des atterrissements de tout autre fleuve, cette loi peut être d'un grand secours, non-seulement pour donner des indications géologiques importantes sur les diverses stations du cordon littoral, mais encore pour déterminer les points relativement invariables qui pourraient servir d'emplacement à des centres fixes de population, de commerce ou d'industrie.

XLVI.

Nous ne saurions quitter le delta du Pô sans signaler la grande analogie qu'il présente avec celui du Rhône, au point de vue de l'avancement annuel de l'embouchure, qui paraît dépasser 100^m.

L'avancement de la bouche du grand Rhône est de 50^m au moins. Ces deux chiffres sont très-supérieurs à ceux qui ont été constatés sur le delta du Nil, dont les deux embouchures principales ne paraissent pas gagner plus de 4 à 5^m par an sur la Méditerranée.

Ces différences si grandes sont dues à diverses causes, telles que la profondeur relative de la mer où se font les dépôts, la direction des vents dominants qui, sur le Rhône, repoussent les sables à la mer, tandis que sur le Nil ils les rejettent sur le continent, mais dont la principale est bien certainement due à l'état d'endiguement du fleuve.

Le Nil se répand librement, non-seulement sur son delta, mais dans toute la vallée supérieure, dont il exhausse le niveau d'une manière régulière, à raison de $0^m,126$ en un siècle.

Le Rhône et le Pô, au contraire, sont endigués sur tout

leur parcours, et forcés de porter à la mer la masse totale de leurs sédiments.

L'effet de l'endiguement, qui a été complété pendant le moyen-âge sur le Pô, paraît avoir eu pour résultat d'accélérer sa marche en avant. Mais nous trouvons un exemple bien autrement remarquable de cette influence des travaux de l'homme sur le régime d'une rivière, dans le delta du Mississipi.

Il est sans doute assez difficile de se faire une idée bien précise de l'état réel des lieux à l'époque de la découverte des embouchures par les Français, vers la fin du XVII[e] siècle. Nous trouvons reproduites dans un ouvrage de M. Thomassy[1] plusieurs anciennes cartes indiquant, les unes une direction rectiligne de la côte sur le golfe du Mexique, les autres un pointement plus ou moins prononcé dans la direction de l'embouchure actuelle. Quelle qu'ait été la saillie de ce pointement primitif, on ne saurait méconnaître l'anomalie de son développement excessif dans les deux derniers siècles. La forme actuelle des bouches du Mississipi, *cette hydre au col étroit*[2], dont les cinq bouches se déversent dans le golfe du Mexique à 50 kilomètres de son point d'attache, constitue une bizarrerie géologique qui n'aurait pu se produire si rien n'avait été changé aux conditions anciennes et régulières dans lesquelles s'était opérée la masse principale du comblement. Les modifications de régime résultant de l'endiguement du lit principal du fleuve et des défrichements considérables opérés en amont, peuvent seules expliquer ce surcroît de force de projection qui

[1] *Géologie de la basse Louisiane.*

[2] Élie de Beaumont; *Géologie pratique.*

a rejeté le sommet mobile du cône de déjection si loin de ses anciennes limites.

Dans l'état présent des choses, la tête *de l'hydre* ne serait, à nos yeux, qu'un nouveau centre de diramation secondaire, à partir duquel, dans un avenir plus ou moins éloigné, le Mississipi divergera de droite et de gauche, pour ajouter à sa formation première une nouvelle zone analogue à celle que le Rhône rayonnant autour de Chamone a dû créer pendant l'ère moderne.

La création de ce nouveau bras du Mississipi est relativement récente. Antérieurement, les atterrissements du fleuve avaient déjà dû franchir des cordons littoraux plus anciens, notamment celui qui barrait l'estuaire à l'origine. Autant qu'on peut en juger par l'aspect d'une carte incomplète, il y a tout lieu de supposer que l'emplacement de la Nouvelle-Orléans se trouve précisément sur ce premier cordon littoral; que ce point constituait, avant le nouvel avancement du fleuve, un centre de diramation autour duquel ont dû se former les énormes atterrissements compris entre le lac Pontchartrain sur la gauche, le lac Bataria sur la droite.

Cette circonstance n'a pas échappé à M. Élie de Beaumont. Il fait observer combien il est remarquable qu'au milieu des tâtonnements et des incertitudes qui ont dû sans doute accompagner les débuts de la colonisation, on ait de prime abord bâti la Nouvelle-Orléans sur la position originaire du cordon littoral. Cette observation a bien plus de portée encore, si l'on a égard à cette invariabilité relative que présentent les centres de diramation situés sur les coupures d'un cordon littoral. On ne saurait donc trop s'étonner de l'intuition naturelle qui, en dehors de toute considération géologique, a fait choisir aux premiers colons de la Louisiane le seul emplacement qui pût leur offrir des garanties sérieu-

ses de stabilité. Ils ont été sous ce rapport mieux inspirés que nous ne le serions de nos jours, en voulant créer à la tour Saint-Louis un centre commercial qu'il faudrait, pour ne pas le voir exposé à être prochainement ensablé, remonter en amont de Chamone, emplacement qui, sur le grand Rhône, correspond précisément à celui de la Nouvelle-Orléans sur le Missisipi.

CHAPITRE VII

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES FORMATIONS CONTINENTALES ET SÉDIMENTAIRES D'ORIGINE DILUVIENNE.

XLVII.

L'observation directe des faits géologiques qui se continuent sous nos yeux nous a permis de rendre compte de l'action des courants d'eau actuels et des effets qu'ils ont produits.

Nous avons vu comment se transformaient en limons et en sables les matières minérales enlevées par les torrents aux régions supérieures des vallées. Une minime quantité des débris se dépose sur les rives des cours d'eau ; la majeure partie s'amoncelle à leur embouchure, ou, entraînée vers la haute mer, contribue à constituer de nouvelles couches sédimentaires.

Cette action est continue, mais excessivement lente. Si prolongée qu'on la suppose, elle ne saurait expliquer la formation de toutes les assises de l'écorce terrestre. La puissance de ses diverses couches, les transformations et les bouleversements qu'elles ont subis, impliquent l'intervention d'agents beaucoup plus énergiques, qui, à différentes époques, ont déterminé des phénomènes généraux de dislocation et de transports en grandes masses, hors de proportion avec ceux qui se produisent aujourd'hui.

La géologie nous démontre l'existence de courants accidentels que nous comprendrons sous l'acception générique de diluviens, qui ont tour à tour bouleversé la surface du globe.

Nous pouvons jusqu'à un certain point comparer les phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt qui leur sont dus, aux phénomènes analogues résultant des courants modernes; mais nous ne pourrions, comme pour ces derniers, déterminer exactement les causes, apprécier l'intensité et la durée d'action des courants diluviens. On ne peut faire à cet égard que des hypothèses plus ou moins plausibles.

Ces courants sont-ils dus aux déplacements des eaux de la mer occasionnés par le soulèvement d'une chaîne de montagnes surgissant des profondeurs de l'Océan, à l'affaissement subit d'une partie de l'écorce solide, ou à la fusion accidentelle de vastes glaciers [1]? Doit-on admettre, avec quelques géologues, qu'ils ont été produits par une brusque déviation de l'axe de rotation du globe résultant d'un choc planétaire [2]?

[1] Les dernières recherches de la géologie ont constaté l'existence en divers points du globe de terrains meubles dont le transport a été effectué, non par des courants liquides, mais par de vastes glaciers aujourd'hui disparus. Il n'entre pas dans notre cadre de traiter de ces terrains spéciaux qui, bien que très-étendus parfois, n'ont qu'une importance restreinte au point de vue agronomique, et paraissent d'ailleurs avoir été le plus souvent remaniés après coup par de véritables courants diluviens, devant peut-être naissance à la fonte rapide du glacier lui-même.

[2] M. Nerée-Boubée a le premier signalé cette cause possible des courants diluviens. M. de Boucheporn a repris la même hypothèse, et en a fait le point de départ d'une ingénieuse théorie qui rendrait compte de toutes les difficultés géologiques se rattachant au soulève-

Ces diverses hypothèses, d'autres peut-être, sont également possibles ; entre elles il n'est fort heureusement pas nécessaire de faire un choix. Nous admettons comme un fait l'existence des courants diluviens, sans en rechercher la cause réelle.

Les études géologiques ne sauraient laisser de doute sur la coïncidence de ces courants diluviens avec une dislocation de l'écorce terrestre ; mais il n'est pas nécessaire d'admettre que les deux faits se soient toujours produits simultanément en un même lieu. Dans toutes les hypothèses, on peut concevoir la production de courants diluviens qui n'auraient agi que par leur action mécanique propre.

Supposons, en effet, qu'une chaîne de montagnes nettement définie, analogue aux Pyrénées, vienne à surgir brusquement du sein de l'Océan. On peut se figurer les effets immédiats qui résulteraient sur place de la masse des eaux soulevées, retombant de tout leur poids sur les nouveaux faîtes disloqués, s'écoulant en vastes nappes sur les flancs effondrés du soulèvement.

Mais à part cet effet principal, au centre d'éruption, les

ment et à l'orientation des diverses chaînes de montagnes, ainsi qu'aux changements de climats survenus à la surface du globe.

Sans discuter la probabilité d'un tel fait, on comprend aisément les effets qui résulteraient du choc de notre globe par un autre corps planétaire. D'une part, les eaux des mers et des lacs, animées d'une grande vitesse acquise, seraient projetées en arrière ou en avant, suivant que la vitesse de rotation serait accélérée ou ralentie; d'autre part, par suite du déplacement de l'axe de rotation, les eaux reflueraient vers le nouvel équateur, s'éloigneraient des nouveaux pôles. Si le renversement de l'axe de rotation était complet, un méridien devenant équateur, la dénivellation par ce seul fait, à part toute dislocation de l'écorce terrestre, attendrait près de 2,000 mètres. Une telle force mise en jeu serait, et bien au-delà, suffisante pour reproduire des effets analogues à ceux qui ont caractérisé l'époque diluvienne.

eaux dont l'équilibre aurait été rompu, reflueraient au loin sur les contrées dont le relief solide n'aurait pas été modifié. Balayant les plaines, escaladant les montagnes, se précipitant en chutes puissantes par toutes les anfractuosités des vallées, elles produiraient des courants secondaires dont l'action mécanique serait analogue à celle des courants qui ont plus particulièrement reçu en géologie le nom de diluviens.

Sans vouloir établir de distinction délicate, nous conserverons cette désignation générique à tous les grands déplacements d'eau qui, à une époque quelconque, ont contribué à donner au globe terrestre sa forme actuelle. Pour simplifier toutefois, nous ferons autant que possible abstraction des effets particuliers résultant d'une dislocation locale. Nous n'envisagerons les courants diluviens qu'au point de vue de leur action directe ; nous les considérerons comme de grandes masses d'eau qui ont parcouru momentanément diverses parties du globe dans des directions déterminées, obéissant aux lois générales de l'hydraulique et à la force de la pesanteur. Sauf l'intensité des forces en jeu, un courant diluvien peut être comparé, pour ses effets mécaniques, aux courants modernes, et plus particulièrement aux torrents de montagne dont M. Surell nous a décrit le type le plus complet dans ses études sur ceux des Hautes-Alpes (XXII). Comme ces derniers torrents, un courant diluvien doit présenter sur son parcours trois zones distinctes : le bassin récepteur, le goulet, et le cône de déjection, correspondant aux trois effets successifs d'érosion, de transport et de dépôt des matières minérales.

L'observation confirme de tous points cette analogie. Un courant diluvien a toujours son origine au cœur d'un soulèvement de montagnes où se sont produites les érosions

principales. Les eaux chargées de débris minéraux ont en général suivi, sur un parcours plus ou moins long, le tracé d'une vallée dans laquelle elles ont été contenues par des berges latérales plus ou moins résistantes, mais insubmersibles.

La précipitation des dépôts, enfin, s'est produite, soit à l'embouchure du courant dans les mers, soit au débouché de la vallée sur une plaine ouverte, à la traversée de laquelle le courant s'est déversé latéralement, en perdant une partie de la vitesse qui seule maintenait en suspension les matières charriées.

L'identité n'est cependant pas absolue entre les courants diluviens et les torrents modernes. L'érosion dans le bassin récepteur n'a pas toujours été produite uniquement par l'action mécanique des eaux courantes ; elle a été activée le plus souvent par un phénomène de dislocation locale qui a facilité la désagrégation et l'entraînement des débris minéraux. Nous ne pouvons tenir compte de cette force, qui nous est inconnue ; nous ne saurions même en mesurer directement les effets, car il ne subsiste le plus souvent aucun repère fixe, aucun *témoin* irrécusable de l'ancien état des lieux qui précisent l'étendue des formations entraînées. On ne peut cuber exactement un déblai dont rien ne limite le vide ; tout au plus peut-on en apprécier l'importance par l'étendue et le volume du comblement visible qu'il a produit. Ce n'est donc pas à l'origine même du courant diluvien dans son bassin de réception, que nous essaierons d'en analyser les effets ; nous les étudierons de préférence dans la zone suivante, le goulet, à la traversée duquel, à raison de la masse et de la vitesse des eaux, le phénomène principal du transport s'est compliqué d'actions accessoires d'érosion et parfois de dépôt.

XLVIII.

Le goulet d'un courant diluvien n'est autre chose que la cuvette d'une de nos vallées modernes limitée par deux berges insubmersibles, entre lesquelles nous admettons *à priori* que le courant est resté contenu.

Le sillon primitif de chaque vallée, plus ou moins modifié par les courants diluviens successifs, est en général formé par une faille ou une dépression résultant d'une dislocation originelle de la surface du globe. Ces failles sont en relation très-nette avec le mouvement qui les a produites. Si elles s'étaient manifestées dans un terrain parfaitement homogène, elles seraient toujours, ou parallèles entre elles, ou orientées autour d'un centre unique de soulèvement; mais leur direction générale a été nécessairement influencée par la résistance variable des couches soulevées ou rompues. La rupture a toujours eu lieu suivant la ligne de moindre résistance. Lorsqu'un tassement se produit dans un édifice, les lézardes se manifestent, tantôt en coupant normalement les assises en pierre de taille, tantôt en suivant les lignes horizontales ou verticales des joints. Un phénomène analogue peut être constaté dans les grandes fractures résultant d'une secousse géologique. Les séparations se sont produites: par cassures nettes, suivant la moindre épaisseur des couches solides; par glissement, suivant les surfaces de contact des terrains différents.

Telle est la succession naturelle des mouvements géologiques dont l'ensemble constitue la cuvette d'une vallée, la dépression originelle dans laquelle a dû s'exercer de prime abord l'action des courants diluviens.

Les traces encore visibles du passage de ces courants nous

indiquent qu'ils ont coulé à pleins bords sur des profondeurs de plusieurs centaines de mètres, des largeurs plus grandes encore, avec une pente superficielle égale à l'inclinaison moyenne de nos vallées. Dans de telles conditions de débit, avec des vitesses qui devaient parfois atteindre ou dépasser 20 ou 30^{m} à la seconde, on conçoit que leur action ait été surtout érosive. Elle a d'ailleurs varié avec la nature des terrains attaqués.

C'est surtout dans les vallées de montagne, où les formations géologiques changent fréquemment, que l'on peut juger des effets différents produits par l'érosion des courants diluviens.

Renfermés à la traversée des roches compactes, telles que les calcaires de l'étage jurassique, dans la fente étroite d'une cassure, entre deux parois verticales et résistantes qu'ils n'ont pas eu la force d'entamer, on les voit s'épanouir à la sortie de ces gorges, formant des vallons plus ou moins étendus, chaque fois que dans leur parcours ils trouvent un nouveau sol plus ou moins affouillable.

Si nous reprenons notre comparaison précédente entre le tracé d'une vallée et celui d'une lézarde dans un mur vertical : les vallons semés en chapelet représentent les séparations suivant la surface de joint de la lézarde; les gorges étroites qui séparent ces vallons, rappellent les ruptures d'assises.

Lorsque rien n'a protégé les formations affouillables, elles ont été enlevées sur de vastes surfaces d'autant plus étendues que le courant, resserré jusque-là dans un lit trop étroit, avait acquis plus de profondeur et de vitesse. Mais parfois ces terrains affouillables ont été préservés, non par leur propre résistance, mais par la compression des terrains plus solides qui les recouvrent, pesant sur eux de tout leur poids.

Partout où cette couche protectrice d'un terrain supérieur est venue à manquer, le terrain inférieur a été intégralement dénudé ; partout au contraire où elle s'est maintenue, soit en entier, soit par fragments, elle a donné lieu : dans le premier cas, à des talus uniformes longeant et resserrant la vallée actuelle ; dans le second cas, à des pics isolés, restés comme autant de *témoins* de l'ancien état des lieux, formés de talus coniques que surmonte la calotte solide dont le poids les a préservés de l'érosion.

Les formations éminemment affouillables, celles à la rencontre desquelles les torrents diluviens ont creusé les vallons principaux, varient naturellement avec la constitution géologique de chaque pays. On ne saurait poser de règle générale à cet égard. Dans les régions du midi de la France, toutefois, on peut surtout considérer comme ayant joué ce rôle : les schistes et les formations arénacées provenant de la désagrégation des roches granitiques dans les terrains anciens; les grès bigarrés, les marnes irisées, les marnes supraliasiques et les marnes néocomiennes dans les terrains secondaires; enfin, les diverses formations argileuses ou sablonneuses du terrain tertiaire.

Les roches compactes qui ont résisté à toute l'action de ces courants, qui par leur compression ont souvent préservé de destruction les terrains inférieurs, sont surtout toujours dans les mêmes contrées : les calcaires de la formation jurassique et principalement ceux de la grande oolithe, les calcaires d'eaux douces du terrain tertiaire, et la majeure partie des roches plutoniques, telles que les trachytes, les basaltes, etc.

Comme exemple à choisir entre bien d'autres, dans nos régions du midi, de l'action érosive des courants diluviens sur les terrains traversés, nous citerons en particulier la

vallée du Tarn, dans les départements de la Lozère et de l'Aveyron.

Le Tarn, qui prend naissance dans le massif granitique de la Lozère, présente à la traversée des terrains de transition qui s'appuient sur les flancs de cette montagne, une série de petits vallons en chapelet. Les plus importants se prolongent en amont et en aval de Florac sur une longueur de 15 à 20 kilomètres, dominés à gauche par les lourdes assises de l'oolithe, surmontant les premiers affleurements des marnes supraliasiques. Mais bientôt la rivière s'engouffre dans le massif même du plateau jurassique, dont elle traverse la formation sur une longueur de 30 à 40 kilomètres, au fond d'une cassure à parois abruptes. Cette gorge profonde, encaissée de toutes parts entre des murailles de roches à pic, sur 3 à 400^{m} de hauteur, ne laissant entre elles aucune place à la culture, se prolonge sans interruption jusqu'à l'entrée du département de l'Aveyron. En ce point la vallée, retrouvant l'affleurement du lias contre les montagnes granitiques du Lévézou, reprend tout à coup le caractère et l'aspect qu'elle avait aux abords de Florac. (*Pl.* II, *fig.* 1.)

Sur la rive gauche se maintiennent toujours les épaisses et compactes assises horizontales de la grande oolithe, dessinant comme une gigantesque et infranchissable barrière tout le long du causse ou plateau supérieur. Les parois verticales de ces masses calcaires ne se prolongent plus, toutefois, comme dans les gorges d'amont, jusqu'au niveau du Tarn; elles reposent sur un talus escarpé de marnes supraliasiques essentiellement affouillables et gelives, qui n'ont résisté que par un effet de compression à toutes les causes de destruction auxquelles elles ont été et restent encore exposées de nos jours; qui, le plus souvent, lentement minées et désagrégées par les eaux à leur partie supérieure,

laissent en surplomb la roche qui les charge. Sur presque toute son étendue, en effet, ce cordon calcaire se trouve en porte-à-faux sur les argiles. Il forme comme une lourde corniche recouvrant de profondes excavations qui se creusent de plus en plus, jusqu'au jour où la roche, rompant sous son propre poids, s'effondre en amas de blocs énormes. Les débris s'amoncellent alors, sur la rive du Tarn, en enrochements naturels qui contribuent à défendre le talus des marnes supraliasiques contre de nouveaux affouillements.

La rive droite de la vallée offre un caractère tout différent. Le calcaire oolithique ne s'y présente plus en cordons formant la lisière d'un plateau continu ; il ne s'y trouve qu'à l'état de fragments isolés, de calottes de peu d'étendue, recouvrant le sommet de buttes ou pics arrondis, *témoins* disséminés sur les flancs de la vallée, et dont les talus escarpés de marnes supraliasiques ne doivent leur conservation partielle qu'à l'existence du calcaire qui les a comprimés. Partout où ce recouvrement fait défaut, les marnes ont été profondément affouillées, le plus souvent même elles ont été enlevées en entier. Les couches minces et feuilletées des calcaires du lias restent à nu. Elles forment de nouveaux plateaux bien différents par leur aspect de ceux de l'oolithe, plateaux profondément découpés de ravines, auxquels la teinte rougeâtre du lias a valu la désignation locale de causse rouge, par opposition aux terres noires des marnes supraliasiques et aux calcaires blanchâtres de l'oolithe, dont les plateaux ont reçu le nom de causse blanc.

Tel est le caractère géologique de la vallée du Tarn, dans toute la partie comprise en amont de Millau, entre les gorges supérieures de l'oolithe et les escarpements qui reparaissent en aval de cette ville à la traversée des couches

inférieures de calcaire du lias. Sur tout ce parcours intermédiaire de 20 kilomètres environ, la rivière actuelle s'est ouvert au pied des flancs escarpés de la rive gauche un lit profondément encaissé, dont le plafond s'est trouvé consolidé et a été définitivement fixé par l'amoncellement des blocs calcaires provenant de l'écroulement successif des roches supérieures.

Aux différences géologiques que nous venons de relater, en correspondent de tout aussi tranchées au point de vue agricole.

Le plateau régulier et continu du calcaire oolithique qui domine le fond de la vallée a une hauteur moyenne de 500^{m} d'un côté; les fragments de plateaux des calcaires du lias qui le longent à distance, de l'autre, sont tous à peu près également arides et dénudés. Leur sol pierreux, à demi inculte, ne produit que de maigres céréales. Il n'est ensemencé que sur les parties les moins mauvaises, d'une manière alternative, laissé un an sur deux à l'état de jachère.

Entre ces deux zones extrêmes s'étend un vallon relativement riche et fertile. Les talus inclinés des marnes noires se prolongent sur la rive droite du Tarn en une série de collines et de coteaux plantés de vignes et d'amandiers, parsemés de grands arbres. Une puissante végétation forme le plus saillant des contrastes avec les talus escarpés et surmontés d'un cordon de roches blanches, au pied desquels coule le Tarn vers la gauche, et les versants arides et rougeâtres qui, sur la rive opposée, prolongent la vallée jusqu'aux croupes arrondies de la montagne granitique du Lévézou, dominant la ville de Millau de près de 800^{m}.

Comme formation analogue à celle de la vallée de Millau, nous pourrions citer encore le petit vallon d'Axat, que

suit la rivière de l'Aude, également ouvert à la traversée des marnes supraliasiques, entre les calcaires de l'oolithe à l'amont et ceux du lias à l'aval. Une différence cependant les distingue : les assises de la formation jurassique n'ont plus conservé leur horizontalité comme dans la Lozère et l'Aveyron. Fortement relevées au contraire parallèlement à la chaîne des Pyrénées, chacune d'elles forme un redent ou cordon saillant. Les fissures servant aujourd'hui de débouché aux vallées qui réunissent les divers étages, n'ont plus la grande longueur des défilés du Tarn, mais n'en sont ni moins abruptes ni moins imposantes. Les gorges de Saint-Georges qui, sur une longueur de quelques centaines de mètres, coupent l'arête saillante de l'oolithe séparant la vallée d'Axat à l'aval, de la contrée boisée et ouverte qui est connue sous le nom de pays de Sault en amont, sont surtout remarquables par la grande hauteur et la netteté des cassures de la masse calcaire. Elle emprisonne entre deux gigantesques murailles le lit étroit de l'Aude, le long de laquelle on n'a pu ménager une route carrossable qu'en la creusant en encorbellement dans les parois verticales du rocher.

Pour rendre compte de l'action érosive des courants diluviens, nous les avons surtout considérés dans les vallées de montagne, où leur intensité, résultant de la masse énorme des eaux en mouvement, se trouvait encore accrue par une pente de surface exceptionnelle. Leurs effets, pour être d'un aspect en général moins grandiose et moins varié, n'en sont pas moins remarquables dans les formations régulières à couches en général horizontales, qui caractérisent les terrains de plaine.

C'est encore à ces mêmes courants, à leur action unique ou répétée à de longs intervalles, que nous devons la for-

mation et surtout l'approfondissement de ces vallées larges et uniformes où coulent nos rivières actuelles en dehors des régions de montagne.

On n'y trouve plus sans doute la trace de ces bouleversements, de ces larges dénudations qui ont si profondément dessiné le relief des contrées accidentées. Les fleuves diluviens, comme les fleuves de nos jours, ont conservé, en dehors de leur régime torrentiel, une allure plus calme, plus régulière, sans rien perdre de leur force. Regagnant en masse et en puissance ce qu'ils perdaient en impétuosité, ils ont, au moment de leur plus grande activité, labouré, nettoyé jusqu'au vif le plafond et les parois de leurs cuvettes. Élargissant et recreusant leur chenal, entrainant les dépôts meubles des formations antérieures qui l'obstruaient, ils ont prolongé ce chenal en dehors des côtes jusqu'au-dessous du niveau des mers, et formé les larges et profonds estuaires où nos principaux fleuves ont conservé leurs embouchures.

XLIX.

Dans la durée plus ou moins longue de leur période totale, les courants diluviens n'ont pourtant pas agi uniquement et partout également par voie d'érosion ; ils ont d'une manière générale produit un remblai égal au déblai, en laissant déposer, soit sur les divers points de leur parcours, soit à leur embouchure, les masses considérables de débris minéraux enlevés sur toute l'étendue de leur bassin.

Ces dépôts diluviens ont une très-grande importance, car ils constituent la majeure partie de nos terres arables. Ils se sont formés dans des conditions fort diverses, dépendant de l'intensité plus ou moins décroissante des courants dans leurs diverses phases. Nous essaierons de les embrasser

dans leur ensemble ; mais avant d'aborder cette étude générale, nous nous restreindrons à ceux qui se sont produits dans l'étendue d'une vallée limitée, dans le goulet d'un torrent diluvien contenu entre des berges insubmersibles. L'action dans ce cas a été surtout érosive ; pendant la période décroissante du courant, il s'est toutefois produit des dépôts dont la formation est restée soumise aux règles générales que nous avons déduites de l'observation des courants modernes.

Les lois d'inversion des plans et des profils, que nous avons vues (xxv) déterminer l'emplacement des dépôts et les directions réciproques des courants d'étiage et de crue dans le lit des rivières actuelles, régissent également les rapports du courant diluvien avec le courant moderne qui lui a succédé dans le parcours d'une même vallée de largeur inégale. A chaque étranglement de la vallée, à chaque resserrement de ses parois latérales inaffouillées, a dû correspondre une accélération de vitesse, un accroissement de pente longitudinale, et par suite un affouillement du plafond nettoyé jusqu'au vif, sans qu'il ait pu se produire de dépôts dans le chenal ainsi creusé. A chaque élargissement, au contraire, compris entre deux étranglements successifs, les eaux, retenues par le remous de l'étranglement inférieur, se sont amoncelées comme dans un lac intermédiaire, large et profond. Elles y ont perdu leur vitesse en même temps que leur pente longitudinale, et laissé déposer par suite en grande quantité les débris qu'elles tenaient en suspension.

Lorsque le courant diluvien s'est entièrement retiré, il a laissé comme résultat final : dans toutes les parties relativement étroites du chenal de la vallée, des gouffres profonds imparfaitement comblés par les dépôts de la période

décroissante du courant ; dans les parties larges, au contraire, des amas considérables de dépôts formant barrage en amont de l'étranglement suivant.

Le régime normal du cours d'eau moderne s'étant établi dans ces conditions générales, on comprend aisément les modifications qu'il a produites. Dans les parties étroites de la vallée creusées par le courant diluvien se sont déposées des alluvions légères, formant des plaines basses submersibles, où la rivière a pris une pente longitudinale en rapport avec la résistance relativement moindre de ces alluvions.

Dans les parties larges de la vallée, au contraire, le cours d'eau s'est ouvert au milieu des dépôts diluviens un lit étroit, profond, dont la pente a été déterminée par l'intensité du nouveau courant en même temps que par la résistance plus grande de ces dépôts, formés de blocs, de débris beaucoup plus gros que ceux qui constituent les alluvions récentes.

On rencontre de très-fréquents exemples de cette répartition relative des terrains diluviens et des alluvions modernes, s'excluant l'un l'autre, dans tous les pays de montagnes. Partout où le chenal diluvien a été régulier, s'est trouvé resserré par deux parois de montagnes parallèles, entre lesquelles il n'a pu se former de dépôts diluviens, la rivière actuelle coule lentement à travers une plaine basse submersible, composée d'alluvions modernes. Sur tous les points au contraire où les montagnes s'écartent pour former un bassin plus spacieux, on retrouve disposés en terrasses successives, des vallons de terrain diluvien dans lesquels la rivière occupe un lit plus ou moins profondément encaissé, ne laissant que peu ou point de place aux alluvions modernes.

La loi générale d'inversion des plans régit également,

dans chacun de ces bassins successifs, les emplacements respectivement occupés par le courant diluvien et le courant moderne qui lui a succédé.

Au moment où une grande rivière torrentielle, le Rhône par exemple, se retire après une crue, les eaux débordées abandonnent peu à peu de larges grèves offrant des alternances de bandes saillantes de cailloux ou de graviers orientés dans le sens de la plus grande résistance au courant, séparées par des dépressions longitudinales plus ou moins profondes. Ces dépressions correspondent bien évidemment aux courants principaux de la crue, et les bandes saillantes aux eaux relativement tranquilles qui longent ces courants.

Un pareil phénomène a dû se produire lorsqu'une vallée a été abandonnée par le courant diluvien qui l'avait comblée. Les sillons principaux du torrent diluvien ont formé les cuvettes naturelles dans lesquelles les affluents de l'époque actuelle ont peu à peu façonné leur lit.

En traitant des courants modernes, nous avons vu quel était l'emplacement de ces sillons principaux dans la traversée du lit majeur submergé par les crues. Une disposition analogue se retrouve dans les larges cuvettes des vallons successifs qui ont été recouvertes et comblées par le courant diluvien. La réciprocité qui existe entre le courant majeur et le courant mineur d'une rivière doit, toutes choses égales d'ailleurs, exister entre la direction du courant diluvien principal et celle du courant permanent actuel.

On comprend cependant que cette règle générale ne soit pas sans exceptions. Bien des circonstances accidentelles peuvent avoir modifié la direction des courants modernes; ils n'occupent pas toujours la place que leur assigne la

théorie ; mais les sillons du courant diluvien n'en sont pas moins nettement accusés à la surface de la cuvette générale, quelle que soit d'ailleurs leur destination actuelle.

Ces sillons ont été au nombre de deux ou de trois au plus. La dépression en général la plus élevée, occupant l'axe du bassin s'il est elliptique, son contour concave s'il est arqué, représente la cuvette du courant diluvien principal. L'autre ou les deux autres dépressions suivent les pourtours du bassin aux points où les talus de déjection du courant diluvien avaient acquis le moins de hauteur.

Le courant moderne le plus important s'est en général établi suivant la dépression la plus creuse, celle qui suit la courbe de plus grand développement. Les deux autres sillons servent de lit aux écoulements des affluents secondaires.

Si nous prenons pour exemple la vallée de la Garonne en amont de Toulouse, nous voyons que le courant diluvien, à sa sortie des gorges qui s'étendent entre Valentine et Saint-Martory, a dû suivre la ligne la plus courte d'un bassin arqué, et longer par suite les coteaux de la rive gauche, où l'on retrouve encore la trace évidente de son lit dans la direction longitudinale affectée par un affluent secondaire, la rivière du Touch, qui y a établi le sien.

Le lit principal de la Garonne a suivi au contraire la courbe la plus éloignée du lit diluvien, au pied des coteaux de la rive droite, qu'elle n'a cessé de ronger pendant toute la durée de la période géologique actuelle.

En remontant en amont des gorges de Saint-Martory, entre Montréjau et Valentine, on retrouve une autre grande terrasse diluvienne de forme elliptique, que le courant diluvien a dû suivre sur son grand axe. La Garonne a maintenu son lit dans cette cuvette centrale ; mais les deux dépres-

sions latérales sont nettement accusées par les lits des affluents secondaires qui longent tous le pied des coteaux au lieu de rejoindre la Garonne à angle droit.

En étudiant avec attention les petits bassins échelonnés dont l'ensemble forme les gorges s'étendant de Valentine à Saint-Martory, nous retrouverions également des applications des deux lois que nous venons d'exposer. Nous ferons observer toutefois que le phénomène du dépôt des terrains diluviens a été nécessairement complexe, que l'écoulement des eaux a dû présenter des phases d'intensité successive différentes, dans lesquelles les derniers courants amoindris ont pu effacer ou remanier le travail de ceux qui les avaient précédés.

Il est parfois assez difficile de distinguer, dans un petit bassin, le dépôt diluvien proprement dit qui s'est produit à l'origine, de l'alluvion postérieure qui lui a succédé. Quelques anomalies apparentes ne sauraient donc infirmer en rien l'exactitude des lois générales que nous venons d'exposer.

Ces lois générales s'appliquent à la formation si remarquable des grandes presqu'îles que présente le cours de la Seine en aval de Paris.

Les parties concaves de la vallée, dont les berges escarpées sont encore corrodées par le courant, appartiennent presque toutes aux terrains tertiaires qui encaissent la cuvette.

Les presqu'îles au contraire, dans leur masse principale, sont des dépôts diluviens. La végétation forestière, la seule que comporte leur sol caillouteux, dessine de loin leurs contours et accuse surtout la dépression de l'isthme étroit qui les rattache à la terre ferme. Cette dépression est la trace du courant diluvien interrompu, qui reprendrait immé-

diatement sa direction rectiligne, si un cataclysme quelconque ramenait progressivement dans la vallée de la Seine une crue de 30 à 40^m de hauteur.

Les eaux, dans cette hypothèse, animées d'une vitesse croissante, cinq à six fois plus forte que celle du courant actuel, contenues d'abord dans les sinuosités du lit, commenceraient à battre en brèche les falaises concaves dont elles rongent le pied, allongeant encore les boucles déjà si prononcées de la vallée. Mais en montant graduellement, la crue finirait par remplir les bassins successifs, par noyer les presqu'îles. Le courant principal changerait alors brusquement de direction, abandonnerait les contours actuels, et, s'élançant en ligne droite, couperait les isthmes des presqu'îles successives.

Des affouillements se produiraient sans doute sur ces hauts-fonds au moment du maximum d'intensité de la crue; mais pendant sa période décroissante, de nouveaux dépôts viendraient peu à peu rétablir l'ancien état des lieux, jusqu'au moment où le courant, délaissant son lit de hautes eaux, reprendrait à peu de chose près sa direction actuelle.

L.

Les courants diluviens contenus entre les parois insubmersibles d'une vallée, à raison de la masse considérable des eaux, de leur profondeur, de leur grande pente, ont dû conserver une très-grande vitesse qui leur permettait de maintenir en suspension les matières entraînées.

Ils ont agi surtout par voie d'érosion; les dépôts qui se sont accidentellement formés dans la cuvette, et dont nous venons d'étudier la position relative, ne sont qu'une exception. La très-majeure partie a été transportée jusqu'à l'em-

bouchure, enfouie sous les mers, toutes les fois que le courant est resté lui-même encaissé sur tout son parcours. Lorsque les berges latérales de sa cuvette ont au contraire présenté quelques coupures ou se sont plus ou moins complètement affaissées à la rencontre d'une plaine ouverte, le courant diluvien s'est déversé en tout ou en partie. Ses effets de débordement ou d'épanouissement dans ce cas, ont été analogues à ceux qui se produisent sur les torrents actuels des montagnes. Les eaux, perdant leur vitesse, ont laissé déposer les matières minérales, produisant des formations semblables, bien que sur une plus grande échelle, à celles qui constituent aujourd'hui les cônes de déjection des torrents des Alpes à leur débouché dans les vallées principales.

Ne connaissant ni la durée ni le débit de ces courants débordés en larges nappes, il nous serait difficile de préciser les conditions particulières dans lesquelles leurs dépôts se sont produits. Variables d'un point à un autre, ils ont été caillouteux ou limoneux suivant que les circonstances locales ont déterminé une accélération ou un ralentissement de vitesse dans les divers filets ou courants secondaires entre lesquels s'était divisé le courant principal.

Dans la première période du déversement, les courants débordés ont en général rencontré sur leur parcours des dépressions naturelles qui, n'étant pas dans la direction de la plus grande pente d'écoulement, ont été comblées, sur de grandes profondeurs, par des eaux relativement tranquilles qui ont laissé déposer pêle mêle tout ce qu'elles charriaient. Ces cuvettes une fois remplies, et les talus du cône de déversement nivelés suivant la ligne de la plus grande pente, les galets seuls ont pu s'arrêter à la surface de ce cône. De là cette circonstance, très-fréquente

dans les terrains diluviens, de dépôts meubles, argileux ou marneux, recouverts par des couches superficielles exclusivement caillouteuses.

L'épanouissement simultané de plusieurs courants diluviens dans une même plaine ouverte a dû déterminer entre les zones d'action de chacun d'eux des espaces d'eaux relativement tranquilles dans lesquels les dépôts se sont précipités en plus grande abondance, formant comme autant de points d'attache qui réunissent la formation diluvienne au massif des montagnes d'où elle est sortie.

En thèse générale, plus encore pour les courants diluviens que pour les courants modernes, on peut dire que les dépôts en un même point ont été d'autant plus considérables que la quantité de matières charriées y a été relativement moindre, ou, ce qui revient au même, que la vitesse des eaux y a été plus faible.

Quelques exemples feront mieux comprendre que des généralités ce qui s'est passé dans les différents cas.

Une des formations les plus importantes du diluvium proprement dit, postérieur au soulèvement des Alpes principales, a été produite en France par un courant descendu des Hautes-Alpes par la vallée de la Durance.

Contenu longtemps entre deux chaines de montagnes et de collines insubmersibles, le courant principal, dans la partie basse de son cours, a couvert de ses dépôts les plaines du Comtat, et plus loin, uni au courant du Rhône, une partie du littoral des départements du Gard et de l'Hérault. Un déversement latéral s'est en outre produit sur la rive gauche par une brèche de la chaîne des Alpines existant à l'emplacement du village de Lamanon. Les eaux déversées en ce point se sont répandues en larges nappes sur les plaines de la Crau, dessinant la grande formation triangulaire

de terrains diluviens dont la base s'arrête au grand bras du Rhône.

Il est peu de localités dans lesquelles les courants diluviens aient laissé des traces plus visibles de leur passage. La brèche de Lamanon présente un pertuis nettement défini de 1,000^{m} de largeur environ, encaissé entre deux montants verticaux de roches résistantes, sur lesquels les érosions du courant diluvien sont parfaitement apparentes, à une hauteur de plus de 30^{m} au-dessus du seuil, qui se trouve lui-même à la cote 106^{m}. En appliquant à la masse des eaux épanchées la formule usuelle des déversoirs, on reconnait que leur débit n'a pas dû être inférieur à 300,000 mètres cubes par seconde.

Cet énorme volume s'est épanoui en éventail dans l'espace triangulaire limité à droite par les Alpines, à gauche par les coteaux de Salon et d'Istres. Les eaux, refoulées à l'ouest par le courant principal qui continuait à suivre la vallée du Rhône, n'ont opéré de ce côté qu'un comblement incomplet qui a laissé subsister les étangs des Baux le long des Alpines, celui de Meyranes près de l'estuaire du Rhône.

Le courant principal des eaux déversées par la brèche de Lamanon s'est établi vers la mer par la voie la plus courte, suivant une ligne droite passant par Entressens.

C'est sur cette direction que se retrouve l'arête culminante du cône de déjection caractérisée par de gros cailloux dont les traînées régulières, orientées dans le sens de la plus grande pente, présentent à l'œil du voyageur qui les traverse en chemin de fer, à la hauteur de la station d'Entressens, une surface aride et dénudée, analogue à celle du lit d'un torrent que les eaux auraient abandonné de la veille.

Aucun limon n'est, en effet, venu recouvrir cette arête médiane qui a émergé la première, pendant la période dé-

croissante du déversement, alors que les eaux, s'échappant en moindre abondance de la brèche de Lamanon, moins chargées de galets, se répandaient latéralement et laissaient déposer sur les lisières de la Crau un sol relativement moins infertile et moins caillouteux que celui de sa partie centrale.

La vallée du Rhône en aval de Lyon présente une série de terrasses diluviennes dont la formation est due plus particulièrement au confluent du courant principal avec les affluents latéraux venus de la chaîne des Alpes. L'un des plus importants de ces affluents est l'Isère. Comme régime général, cette rivière ne présente que deux zones distinctes, offrant sur une énorme échelle une application de nos principes théoriques concernant l'alternative des formations diluviennes et modernes dans une même vallée. En amont de Grenoble, ou mieux de Voreppe, sur une longueur de 250 kilomètres au moins, l'Isère, profondément encaissée entre de hautes montagnes, forme un chenal uniforme de 7 à 800^{m} de longueur, sur les bords duquel on ne rencontre que de très-faibles traces de dépôts diluviens. La vallée, d'une rive à l'autre, était, dans l'état de nature, occupée par une alluvion moderne, de formation éminemment sablonneuse ; comme telle, très-plate, submersible, exposée à de fréquents bouleversements, impropre à toute culture (XXIII). Des travaux d'endiguement longitudinal, d'ancienne date sur le territoire du Dauphiné, d'exécution très-récente sur le territoire nouvellement annexé de la Savoie, ont notablement modifié cet état originel. Sur les plaines latérales réservées, en dehors des digues, on est parvenu à obtenir le dépôt d'alluvions limoneuses qui ont exhaussé le sol et encaissé la rivière entre un double cordon de terres fertiles. Toute autre est la disposition des lieux lorsque l'Isère, échappant à la région des hautes mon-

tagnes, débouche sur les plaines du Rhône. A la hauteur de Voreppe, le courant diluvien, cessant d'être contenu latéralement, paraît s'être divisé en deux bras principaux qui ont formé deux énormes épanchements de dépôts, l'un dans la direction de Beaurepaire, l'autre dans la direction de Saint-Marcellin et de Valence.

La rivière actuelle a maintenu son écoulement suivant cette dernière formation, dont elle a lentement remanié les dépôts. Elle s'est ainsi creusé un lit étroit, profondément encaissé dans des berges caillouteuses, ne laissant aucune place aux dépôts d'alluvions modernes.

Nous pourrions multiplier les exemples de ces formations caillouteuses de diluvium moderne dans les bassins du Rhône, du Rhin ou du Pô ; sur une moindre échelle, nous en retrouverions une analogue dans le département de l'Hérault, produite par un courant diluvien qui a débouché des gorges de la vallée de l'Orb en amont de Béziers. Pendant que le courant principal portait les débris minéraux en ligne droite, du nord au sud, dans un large et profond chenal creusé dans les terrains tertiaires, un courant dérivé s'est épanché sur la gauche à la sortie des gorges insubmersibles de la vallée, et a formé une nappe diluvienne s'étendant sur une surface visible de 35,000 hectares entre les vallées de l'Orb et de l'Hérault.

La direction générale de ce dépôt est accusée aujourd'hui par celle des affluents secondaires, tels que le Libron, la Tongue, etc., qui, primitivement dirigés du nord au sud, entre les deux vallées principales, ont été rejetés dans les sillons principaux du courant diluvien et déviés vers le sud-est dans la partie inférieure de leur cours.

Les dépôts diluviens de l'Hérault sont, sur plusieurs points, recouverts par des coulées de basaltes. L'éruption

des basaltes ayant suivi le soulèvement du Ténare, dont on retrouve des traces très-fréquentes sur tout le littoral de la Méditerranée, l'âge géologique de ce diluvium, de même que celui du diluvium de la Durance, doit être reporté au soulèvement des Alpes principales.

C'est également à la même époque que doivent être rattachés les terrains diluviens de la vallée de la Garonne en amont de Toulouse, et le creusement de la vallée elle-même. Sa cuvette est ouverte dans des terrains d'origine analogue, bien que plus anciens, qui ont couvert tout le sud-ouest de la France entre les chaînes des Pyrénées et la courbe de la Garonne. Ces dépôts sont rapportés par les géologues à une période antérieure. Ils ont coïncidé avec le soulèvement des Alpes occidentales, et sont par suite considérés comme formant l'étage le plus récent des terrains tertiaires. Ils paraissent, pour la plupart, provenir de trois courants principaux qui ont pris naissance autour du centre de soulèvement du Vignemale, et ont débouché sur les plaines de la Gascogne par les trois vallées de la Neste, de l'Adour et du Gave. Ces courants n'étant plus contenus latéralement à leur débouché dans la plaine, se sont épanouis en une large nappe dont la submersion générale a recouvert toute la région embrassée par le circuit de la Garonne.

Deux points de repos relatif, au contact des montagnes, ont déterminé deux centres de dépôt constituant aujourd'hui le plateau de Lannemezan entre la Neste et l'Adour, celui d'Ossun entre l'Adour et le Gave.

Autour de ces plateaux rayonnent, dans toutes les directions, un nombre infini d'affluents, qui ne sont autres que les sillons des courants entre lesquels s'est partagée la grande nappe déversante.

Les rives et les plateaux de faîte de ces petites vallées sont uniformément recouverts d'un dépôt diluvien formé d'un mélange d'argile et de galets siliceux sans aucune trace de calcaire.

Cette formation diluvienne, recouvrant les marnes du terrain tertiaire supérieur, est considérée par tous les géologues comme ayant coïncidé avec celle des Landes, qui en forme le prolongement naturel. Malgré la différence de constitution géologique des deux dépôts, cette identité d'origine est en effet très-probable, et il nous paraîtrait possible d'en rendre compte, en faisant intervenir l'action de la mer.

Tous les dépôts diluviens que nous avons énumérés jusqu'ici; leurs analogues, qui se retrouvent aux époques géologiques antérieures, sous forme de brèches, de poudingues, etc., ont été produits par le ralentissement de vitesse ou l'épanouissement d'un courant à la surface de terrains déjà émergés. Nous les comprendrons sous l'acception générique de terrains diluviens continentaux.

Si considérables que soient les formations de ce genre, elles sont loin de représenter la totalité des matières minérales charriées par les courants. Pendant qu'une minime partie de ces débris se déposait au fond des cuvettes, ou se déversait en nappe sur leurs rives submersibles, la masse principale était entraînée dans les mers et les lacs où s'opérait la précipitation complète.

C'est à cette origine qu'on doit attribuer la majeure partie des terrains sédimentaires de la surface du globe, dont la formation ne saurait s'expliquer par la seule continuité des effets actuels, quelque prolongée qu'on la suppose.

Un caractère particulier, entre plusieurs autres, nous paraît devoir surtout distinguer les formations sédimentaires

d'origine diluvienne de celles qui ont été produites par les courants permanents dans les périodes de calme. Les dernières contiennent toujours des débris de coquilles ou d'animalcules infusoires lentement accumulés. Ces dépouilles d'êtres organisés ne peuvent au contraire se retrouver dans les dépôts sédimentaires diluviens, qui se sont produits brusquement, en grande masse, en trop peu de temps pour que la vie organique ait pu se développer dans l'intervalle.

Les terrains sédimentaires diluviens, l'absence de débris organisés mise à part, n'en sont pas moins restés, quant à leur mode de formation sous les eaux, soumis aux mêmes influences que les dépôts modernes. L'agitation perpétuelle des eaux de la mer, l'action incessante du ressac accrue encore par les convulsions générales du globe qui ont coïncidé avec ces dépôts, ont dû leur faire subir une lévigation générale qui a eu pour effet de séparer les sables quartzeux des limons. Les sables se sont accumulés en couches successives sur les plages ; les limons ont été entraînés au large vers la haute mer.

C'est à un pareil phénomène de lévigation que nous croirions devoir attribuer la formation des landes de Gascogne. Leur sol sablonneux ne serait autre chose qu'une couche sédimentaire, provenant du lavage des apports diluviens au contact de la mer, dans laquelle ils étaient précipités.

La constitution géologique des landes de Gasgogne nous paraît se rapporter parfaitement à cette origine. Le sol repose sur des faluns et des marnes coquillières qui représentent le fond primitif de la mer, dans lequel s'est opéré le dépôt diluvien. Il ne contient lui-même aucun débris de coquilles, et est presque entièrement formé de sables

quartzeux à grains arrondis, complètement identiques d'aspect et de nature avec ceux qu'on obtient comme résidu du lavage des argiles diluviennes de la formation attenante. Les seules matières autres que le quartz qu'on trouve dans ce sable, sont un peu d'hydroxyde de fer, et çà et là quelques lentilles d'argile empâtant du lignite ou du bois carbonisé, substances qui les unes et les autres peuvent également bien provenir du diluvium.

Nous retrouverions une formation tout à fait analogue, bien qu'elle soit rapportée par les géologues à une époque antérieure, dans les terrains de la rive gauche de la Loire, en aval de Cosne. Les sables de la Sologne, identiques à ceux des Landes, succèdent comme ces derniers à des formations argileuses qui reposent également sur des marnes et s'adossent au massif des montagnes centrales.

Chaque bouleversement géologique a déterminé la formation de terrains diluviens qui, bien qu'ils aient pu être modifiés dans leur assiette par des dislocations ultérieures, n'en présentent pas moins les caractères généraux que nous venons d'établir.

Un dépôt diluvien continental implique toujours un terrain sédimentaire beaucoup plus considérable, qui en formait à l'origine le prolongement sous-marin. La détermination des dépôts continentaux, et principalement de leur sommet de déversement, a donc une très-grande importance, car elle donne le tracé naturel du chemin qu'il faudrait suivre pour rétablir artificiellement l'action du courant interrompu, qu'il s'agisse d'arroser les terrains sédimentaires émergés, ou, comme nous le proposerons plus tard, de les amender et de les remanier.

Les points d'attache des terrains diluviens aux berges des goulets, d'où ils sont primitivement sortis, ont été le

plus souvent empiriquement reconnus et mis à profit, principalement pour l'irrigation des terrains inférieurs.

La brèche du coteau des Alpines par laquelle s'est déversé le courant de la Durance, sert aujourd'hui de point de passage à tous les canaux d'arrosage des plaines de la Crau.

Le plateau de Lannemezan est également le point d'arrivée d'un canal dérivé de la Neste, dont les eaux doivent être distribuées dans toutes les vallées et sur tous les faîtes des coteaux de l'Armagnac divergeant de ce centre commun.

Une dérivation du gave de Pau, analogue à celle de la Neste, est déjà projetée pour opérer une distribution de ses eaux entre tous les affluents de la rive gauche de l'Adour.

LI.

Nous avons signalé l'infériorité relative des terrains diluviens au point de vue de leur valeur agronomique. Les matières minérales qui les composent ne proviennent pas toujours d'une distance suffisante, elles n'ont reçu en route qu'une trituration incomplète. Loin d'avoir été convenablement mélangées par le transport, elles ont subi un effet de lévigation qui a porté toutes les vases sur un point, laissé les cailloux dénudés ou les sables quartzeux sur un autre.

Les terrains diluviens continentaux ou sédimentaires sont habituellement des sols médiocres, fort inférieurs à ceux qui ont été produits par les alluvions postérieures, dont le grain mieux divisé représente dans son ensemble un échantillon plus complet des espèces minéralogiques répandues sur toute l'étendue du bassin général de la vallée.

Les courants diluviens renouvelant la surface du sol végétal, entraînant en général à la mer les formations épuisées des périodes antérieures, pour les remplacer par de nouveaux dépôts, ne peuvent être considérés que comme ébauchant un travail auquel les cours d'eau permanents peuvent seuls donner tout le fini possible. On doit donc regarder comme une circonstance providentielle des plus heureuses cette disposition en vertu de laquelle les dépôts diluviens descendus le long des vallées, après chaque convulsion du globe, doivent être immédiatement repris, remaniés par les courants d'eau permanents, pour être définitivement transformés en alluvions ayant acquis leur plus haut degré de fertilité.

Les alluvions régulières des fleuves modernes ne proviennent pourtant pas uniquement des dépôts diluviens supérieurs remaniés ; elles sont également produites par l'action érosive propre des courants d'eau permanents qui ont succédé aux grands courants accidentels du globe. Dans les vallées torrentielles des montagnes, partout où les torrents diluviens, dans leur courte durée, n'avaient pu assez profondement entailler le thalweg pour lui enlever son excès de pente, les eaux des courants réguliers ont continué leurs effets d'érosion, entraînant les terres meubles et affouillables, rongeant lentement les seuils formés par les roches résistantes, minant les berges et les parois, entraînant parcelle à parcelle les roches les plus dures. A l'action mécanique des eaux courantes, corrodant les rives en raison de leur masse et de leur vitesse, viennent encore se joindre, dans les périodes de calme, l'action du temps et l'influence atmosphérique qui désagrége ou délite plus ou moins certains terrains et prépare leur facile entraînement.

Les érosions actuelles ne peuvent plus avoir, même à la longue, qu'une influence très-limitée sur les terrains peu résistants, que les courants diluviens faisaient crouler tout d'une pièce en les minant par le bas. Des berges latérales, comme nous l'avons vu pour le Tarn dans la vallée de Millau (XLVIII), sont le plus souvent défendues, à la hauteur où le courant moderne peut atteindre dans ses crues les plus élevées, par des enrochements naturels, débris des anciens écroulements. Mais, en revanche, les érosions modernes s'exercent parfois énergiquement à la surface des formations plus dures et plus résistantes qui cèdent à l'action incessante du temps et de l'atmosphère.

C'est à cette cause particulière de dénudations qui se produisent dans l'époque actuelle et sont la continuation de phénomènes analogues dans les périodes antérieures au dernier diluvium, que les diverses formations géologiques doivent en général les caractères extérieurs, le *facies*, qui les distinguent à nos yeux.

Tandis que diverses roches inaltérables à l'air, un grand nombre de calcaires, certaines roches plutoniques, quelques grès, ont plus particulièrement résisté à l'action combinée de l'eau et des agents atmosphériques, et ont conservé toute la netteté de leurs cassures primitives, d'autres roches au contraire se sont émoussées sur les angles, arrondies ou polies à leur surface.

De là, les formes abruptes, les grands massifs de roches verticales, qui de loin signalent les talus des montagnes calcaires ; les formes moutonnées aux contours arrondis, aux flancs verdoyants, qui caractérisent au contraire les montagnes marneuses, schisteuses ou micacées.

Chaque roche a pour ainsi dire un caractère particulier de dégradation qui permet à un œil exercé de reconnaître

souvent beaucoup mieux à distance que de près où finit telle formation, où commence telle autre.

Nous avons étudié avec un soin particulier, dans les chapitres qui précèdent, tout ce qui se rapporte à l'alimentation et au régime des cours d'eau modernes, aux phénomènes d'érosion et de dépôt qu'ils produisent. Les formations auxquelles ils donnent naissance, malgré leur peu d'étendue relative, ont une grande importance ; non-seulement parce qu'elles constituent nos terres végétales les plus riches, mais parce qu'elles nous offrent dans leur trop rares échantillons un type naturel que nous devons nous efforcer de reproduire et de généraliser, en l'améliorant encore s'il est possible.

Notre travail a été jusqu'ici purement analytique. Nous avons cherché à déduire de l'observation directe des lois générales dont il nous reste à trouver l'application pratique.

Nous nous occuperons en premier lieu des alluvions naturelles. Nous avons vu à l'œuvre, livrée à elle-même, la force physique qui les produit ; nous verrons comment il est possible de la diriger, d'en modifier les effets, de la combattre même au besoin, dans le cadre où elle exerce ses efforts.

Nous aborderons ensuite le but essentiel de cet ouvrage, qui est la généralisation du type des alluvions naturelles, aujourd'hui si peu répandu, et dont il nous parait possible d'étendre le bénéfice à la majeure partie des terrains diluviens et sédimentaires de la surface du globe.

CHAPITRE VIII

TRAVAUX DE DÉFENSE PRÉVENTIFS DANS LA ZONE SUPÉRIEURE DES VALLÉES.

LII.

Entraînement du sol dans les zones supérieures, dépôt dans les zones inférieures, tels sont les deux phénomènes intimement unis l'un à l'autre que nous voyons se succéder d'une manière générale dans nos vallées. Pour qui, ne se rendant pas compte de la nécessité de ce double travail, penserait que tout est pour le mieux, à la condition de rester ce qu'il est, la première chose à faire serait de mettre un terme aux érosions que produisent les affluents les plus élevés.

Nous ne sommes pas assez exclusif dans nos idées pour contester qu'il n'existe parfois, dans la région des montagnes, des terrains relativement fertiles, qui sans avoir tous les éléments de fécondité des terres d'alluvion, n'en ont pas moins une certaine valeur agricole, et qu'il est dès-lors regrettable de laisser exposés sans défense à l'action des torrents. Ces exceptions sont cependant plus rares qu'on ne le croit; en général ce n'est pas d'une pareille source, de terres végétales déjà formées, que proviennent ces quantités énormes de limons que nos grands fleuves charrient et déposent sur les rives plus ou moins voisines de

leur embouchure. Les alluvions, pour la plupart, proviennent de la dislocation de terrains qui, pris isolément, tels que la nature les a fait sortir du sein des mers ou des entrailles des volcans, sont inertes et infertiles. Il peut être parfois nécessaire de protéger contre les inondations quelques lambeaux de prairies disséminées le long des petites vallées, quelques couches de terres végétales répandues sur la croupe ou les flancs d'une montagne. Il serait au contraire d'un assez médiocre intérêt de s'opposer à l'entraînement des terrains à demi meubles, tels que les galets diluviens, les marnes, les argiles ou les sables siliceux des terrains tertiaires, les marnes irisées, les grès bigarrés, les schistes, les sables feldspathiques, terrains qui, par eux-mêmes improductifs, donnent naissance, lorsqu'ils ont été suffisamment broyés et mélangés par les courants, aux alluvions les plus riches et les plus fécondes.

En parcourant les Alpes ou les montagnes du centre et du midi de la France, on reconnaît aisément qu'on ne saurait considérer comme une véritable cause d'appauvrissement pour ces contrées, d'ailleurs déshéritées, la dislocation ou l'effondrement des flancs incultes et décharnés des innombrables affluents torrentiels qui les sillonnent.

La question de la défense des zones supérieures est donc, en somme, bien loin d'avoir l'importance qu'on lui suppose.

Dans les cas exceptionnels dont nous avons parlé, nous admettons cependant que la solution de ce problème présenterait parfois un certain intérêt, et nous comprenons qu'il puisse être convenable de s'en occuper.

Les nombreux moyens qui ont été indiqués dans le but de remédier aux inconvénients plus ou moins sérieux des nondations torrentielles, se réduisent à deux systèmes

différents, suivant qu'on se propose de réduire les limites extrêmes de débit des courants en hautes eaux, ou d'en diminuer la vitesse.

La régularisation du régime, basée sur une prolongation de la durée d'écoulement, a donné lieu dans ces derniers temps à de nombreuses controverses.

On s'est surtout inquiété de l'influence que le déboisement des montagnes aurait exercée sur la grande irrégularité du régime de nos rivières torrentielles.

Il n'est d'abord rien de plus incertain que l'existence de ces prétendues forêts druidiques qui auraient autrefois uniformément étendu leur épais ombrage sur l'ensemble de notre territoire. L'observation même la plus superficielle fait reconnaître des relations entre la nature des formations géologiques et le développement de la végétation qu'elles comportent. Certaines contrées ont dû spontanément se couvrir de forêts qui partiellement subsistent encore; d'autres, en dépit de toutes les traditions locales, n'ont jamais dû être plus boisées qu'elles ne le sont aujourd'hui.

Si nous trouvons partout également dénudées les vastes formations de calcaires perméables du terrain secondaire, qui sous le nom de causses dans le midi et le centre de la France, sous celui de plaines dans l'ouest, sous tel autre dans les Vosges ou le Jura, couvrent une si grande partie de notre sol, nous ne pouvons en conclure qu'une chose : c'est que de pareils terrains, prédestinés à la production des céréales et des prairies artificielles, ont été de tout temps, comme ils le sont de nos jours, impropres à la végétation forestière.

Dans son beau travail sur les inondations, M. l'ingénieur en chef Vallès nous paraît avoir établi d'une manière irréfutable que le boisement des montagnes, en le supposant

praticable, serait loin d'avoir tous les résultats qu'on annonce. Sur certains terrains analogues aux montagnes des Hautes-Alpes, dont nous avons déjà cité l'exemple d'après M. Surell, une végétation touffue et puissante peut sans doute ralentir l'écoulement superficiel des eaux de pluie ; mais dans bien d'autres contrées, dans celles qui constituent les plateaux calcaires des terrains secondaires, dont nous parlions tout à l'heure, le boisement, en supprimant l'écoulement naturel à travers un sous-sol perméable, pourrait lui substituer un écoulement de surface relativement beaucoup plus rapide, et tendrait plutôt à augmenter qu'à diminuer l'écart existant entre les débits extrêmes d'étiages et de hautes eaux.

LIII.

Si le boisement, à part les difficultés pratiques de cette opération, exécutée sur une grande échelle, ne peut être considéré comme devant avoir généralement une influence sérieuse sur la régularisation du régime des rivières torrentielles, à plus forte raison ne saurait-on compter sur tant d'autres prétendus remèdes, tels que le drainage, les rigoles horizontales ou les réservoirs, qui tour à tour ont été préconisés dans ces derniers temps.

Théoriquement, ces divers moyens se réduisent à un seul : emmagasiner momentanément une partie des eaux pluviales, pour en ajourner plus ou moins longtemps l'écoulement. La capacité seule des réservoirs diffère, suivant que les eaux sont retenues dans les pores du sol ouvert par le drainage, les rigoles horizontales longeant les coteaux, ou les grands réservoirs obtenus par le barrage des vallées.

Le but est le même, et les avantages, si avantage il y

avait, des trois systèmes, pourraient se comparer par les prix respectifs auxquels reviendrait le mètre cube d'eau ainsi distrait de la période d'inondation.

Puisque ces divers procédés ont été plus ou moins recommandés, examinons-les successivement : voyons ce que l'on peut en attendre.

Le drainage, tel qu'il a été employé jusqu'à ce jour, ne peut être considéré que comme une méthode d'amélioration agricole applicable seulement à des terres d'une certaine valeur : terres argileuses profondes, à faible pente superficielle, sur lesquelles les eaux dans l'état naturel ne s'écoulent que difficilement.

En facilitant la pénétration du sol par les eaux, le drainage, jusqu'à un certain point, peut bien encore diminuer cet écoulement superficiel, déjà si faible; mais il lui substitue un écoulement souterrain beaucoup plus considérable, dans lequel viennent se confondre les eaux contenues dans les pores du sol, qui, avant de trouver une issue dans les drains, ne disparaissaient que par évaporation. Au point de vue du régime des eaux d'inondation, de l'écoulement rapide des grandes masses, les deux effets se compensent ; ce qui explique que, suivant qu'elles ont eu égard isolément à l'une ou à l'autre de ces influences contraires, bien des personnes ont attribué au drainage des résultats tout à fait opposés. Si grande que puisse jamais être l'extension du drainage appliqué, comme il l'a été jusqu'à ce jour, dans des vues d'amélioration agricole, il ne saurait avoir une action appréciable sur le régime des inondations ; tout au plus pourrait-il faire sentir ses effets sur la régularisation du régime normal des rivières en dehors des temps de crue, en assurant une certaine permanence d'écoulement aux eaux absorbées par le sol, que l'évaporation faisait seule disparaître

dans l'état naturel. Cette amélioration dans le régime d'étiage serait certainement très-avantageuse, mais elle est en dehors du cadre de nos études, qui ne doivent porter que sur le rôle que peut jouer, dans la transformation des terrains livrés à la culture, le mouvement des grandes masses d'eau d'inondation.

Si l'influence indirecte du drainage agricole est nulle, quels résultats pourrait-on attendre de son application spéciale au problème des inondations : en opérant en dehors des terres arables occupant les plaines fertiles ou le fond des vallées, pour se porter dans les régions montagneuses, où prennent naissance les affluents torrentiels de nos cours d'eau? Envisagé sous ce nouvel aspect, le drainage, quelque prix qu'on voulût y mettre, serait inapplicable, dans la plupart des cas, sur les terrains imperméables et inattaquables, à fond de rocher plus ou moins apparent, qui forment la majeure part des formations de ces régions élevées. Tout au plus pourrait-on l'essayer sur quelques revers de montagne encore recouverts, malgré leur inclinaison, d'une certaine couche de terre meuble ou végétale. Sur de semblables terrains, tout à fait exceptionnels, le drainage pourrait peut-être faciliter l'infiltration des eaux, en retarder l'écoulement. Reste à voir quels seraient les résultats pratiques de l'opération.

La dépense s'élèverait à 300^f par hectare au minimum. A ces conditions, on absorberait une plus ou moins grande quantité de l'eau pluviale, 1 000 mètres cubes par hectare pour une averse exceptionnelle donnant 0^m,10 en 24 heures, ce qui serait beaucoup. Le prix du mètre cube d'eau emmagasinée serait de 0^f,30 par mètre cube en frais de premier établissement, qui devraient être renouvelés tous les dix ou quinze ans, car un drainage dure rarement davan-

tage sans être obstrué par les racines ou les dépôts vaseux. S'il s'agissait du bassin d'un grand fleuve, comme celui du Rhône qui débite dans les grandes inondations 14 000 mètres cubes d'eau par seconde, 1 300 millions de mètres cubes en 24 heures; le drainage de 100 000 hectares de terrains inclinés, coûtant 30 millions, retiendrait au maximum 100 millions de mètres cubes, un treizième du débit journalier.

Mais ce résultat même, tout coûteux qu'il soit déjà, serait loin d'être atteint. Les drainages devant être disséminés sur toute l'étendue du bassin, leur action ne coïnciderait pas partout à la fois avec la tombée de la pluie.

Le bassin du Rhône a, en nombres ronds, 10 millions d'hectares de superficie, dont la moitié au moins doivent être considérés comme appartenant à la région montagneuse où se produisent les crues. C'est à un total de 5 millions d'hectares qu'il faudrait donc rapporter les 100 000 hectares drainés, avec cette différence que les terrains auxquels le drainage aurait pu être appliqué, seraient, toute proportion gardée, ceux qui dans l'état naturel étaient déjà les plus perméables, qui en temps d'inondation devaient donner le moins d'eau. Au prix de 30 millions, représentant le drainage de 100 000 hectares, on obtiendrait une réduction dans le volume des eaux de crue très-probablement inférieure à un cinquantième de leur produit en 24 heures.

En supposant même que ce chiffre ne fût pas, comme il le serait, très-supérieur à la réalité, qui pourrait proposer un tel sacrifice pour un si minime résultat? Lorsque nous avons, en France, tant de bonnes terres auxquelles le drainage pourrait assurer une plus-value de 1 000f au moins par hectare, et qu'il est cependant si difficile de propager l'usage

de cette méthode, qui pourrait conseiller de dépenser des millions par centaines pour en concentrer l'emploi dans des régions stériles, sans aucun avantage immédiat et direct pour l'agriculture, en vue d'une amélioration incertaine et chimérique du régime des inondations?

LIV.

Après le drainage, parlerons-nous des rigoles horizontales, que quelques publicistes ont proposé de construire sur le flanc des montagnes? Dans la région des affluents torrentiels de nos fleuves, les rigoles horizontales seraient bien plus impraticables encore que le drainage, à moins qu'on n'admît des rigoles en maçonnerie avec ponceaux ou murs de défense contre les ravins, coûtant communément de 20 à 30f le mètre courant, comme un canal d'irrigation à flanc de montagne. En se bornant, pour les rigoles comme pour le drainage, aux terrains exceptionnels qui présentent avec une pente régulière un fond de terre suffisant, dans les meilleures conditions possibles, la section de la rigole, par mètre courant, serait à peine double du déblai qu'elle nécessiterait. Le volume d'eau emmagasinée serait ainsi deux fois plus fort que celui de la terre remuée; l'unité coûterait par suite deux fois moins, soit 0f,30 le mètre cube, en comptant sur un prix de 0f,60 par mètre de déblai, qui pour des terres fermes n'aurait rien d'exagéré. C'est à peu près le prix que nous avons trouvé pour le mètre cube d'eau absorbé par le drainage. Il y a seulement cette différence que, pour le drainage, on peut se contenter de n'absorber qu'une partie quelconque de l'eau pluviale, 1 000 mètres cubes par hectare, si l'on veut. Le surplus, une fois la terre imbibée, s'écoulerait à la surface; tandis

qu'avec les rigoles horizontales il faudrait se mettre en mesure de retenir au besoin toute l'eau d'une saison pluvieuse. Il serait indispensable, en effet, que les rigoles ne pussent jamais déverser ; car le trop plein, s'écoulant et s'ajoutant de l'une à l'autre, ne tarderait pas à raviner la crête des revers de ces rigoles, à rompre même entièrement les petites digues, avec une force d'autant plus irrésistible que les réserves échelonnées du sommet à la base de la montagne, en se vidant successivement, viendraient à joindre leur efforts. A chaque averse qui suffirait pour faire déverser les rigoles, non-seulement on serait exposé à perdre tout le bon effet qu'on aurait espéré de leur établissement, mais encore on aurait de grands frais d'entretien et de réparation à supporter. Pour obvier à cet inconvénient, il faudrait donner aux rigoles une section suffisante pour contenir non-seulement le produit d'une averse, mais celui de toutes les averses d'une période pluvieuse, 3 ou 4 000 mètres cubes par hectare probablement. Il en résulterait une dépense de 12 à 1 500f, quatre ou cinq fois plus forte que celle du drainage, sans aucune espèce de compensation au point de vue agricole ; car, quoi qu'on ait pu dire à cet égard, ces sillons parallèles rayant le sol transversalement, retenant par un effet continu les eaux à la surface, au lieu de faciliter leur écoulement souterrain, rendraient toute culture à peu près impossible.

Le système des grands réservoirs obtenus par le barrage des vallées ne serait pas beaucoup plus efficace et serait tout aussi impraticable que celui des rigoles horizontales, pour ce qui concerne le régime des inondations. En prenant pour type, non pas ce qui a été fait, mais ce qui a été projeté en ce genre, notamment les réservoirs étudiés dans les Pyrénées-Orientales, tels qu'ils sont décrits dans

le *Cours d'agriculture* de M. Nadault de Buffon, on voit que le moindre prix du mètre cube d'eau approvisionné par ce moyen reviendrait à 0f,10. Qu'on se rende compte de ce que coûterait à ce taux l'emmagasinement d'une partie tant soit peu notable des crues d'un fleuve qui, comme le Rhône, débite jusqu'à 1 300 millions de mètres cubes d'eau en 24 heures, on reconnaîtra qu'on ne saurait employer ces retenues pour restreindre le débit des inondations. Tout au plus pourra-t-on espérer de les adapter un jour à l'amélioration du régime d'étiage, pour les besoins de l'industrie, de l'irrigation ou de la navigation.

Les grands réservoirs échelonnés dans la partie haute des vallées ne sont autre chose que le système des rigoles horizontales sur une échelle plus étendue. Ils présenteraient tous les inconvénients que nous venons de signaler. Il serait à craindre que la rupture d'une quelconque des retenues n'entraînât successivement celle de toutes les digues d'aval, et ne produisît ainsi une crue accidentelle bien supérieure aux crues naturelles que l'on aurait voulu éviter, une véritable avalanche d'eau à laquelle rien ne pourrait résister.

Ainsi que le faisait dernièrement ressortir avec tant de justesse M. de Franqueville, les véritables réservoirs de retenue sont constitués par les terres riveraines des cours d'eau sur lesquelles se déversent les crues[1]. Les prairies

[1] En se plaçant à ce point de vue de l'action modératrice des terrains naturellemment submersibles, on ne saurait s'empêcher de trouver une certaine contradiction dans les nouveaux travaux d'endiguement qui ont pour résultat, sinon pour but, de réduire la surface de ces terrains. Ne doit-on pas, par exemple, regretter que le prolongement des digues longitudinales de l'Isère, dans la traversée de la Savoie, ait eu pour effet de distraire 7 000 hectares de la zone des terrains submersibles, et de diminuer de plus de 100 millions de mètres cubes

submersibles de la vallée de la Saône peuvent contenir un milliard de mètres cubes d'eau, dont l'écoulement viendrait s'ajouter à celui des inondations du Rhône, si jamais on avait la malencontreuse idée de vouloir endiguer la Saône. Pour compenser par des réservoirs artificiels les résultats d'une telle opération, il faudrait, d'après les bases ci-dessus, dépenser plus de 100 millions, en admettant qu'il fût possible de trouver des emplacements convenables pour de si vastes retenues.

Ainsi donc, en résumé, on n'a rien à espérer des réservoirs, grands et petits; peu de chose à attendre du reboisement, pour ralentir l'écoulement des eaux pluviales dans les affluents supérieurs, en vue d'atténuer l'intensité des inondations. Il faut les accepter telles qu'elles nous arrivent, avec les masses d'eau qu'elles entraînent; et cette nécessité, comme nous espérons le démontrer dans la suite de ce travail, est loin d'être un mal regrettable.

Au moment d'abandonner, pour ne plus en reparler, la région supérieure des montagnes où se forment les crues, nous ne saurions trop répéter qu'on s'est mépris sur la nature de ces érosions, de ces entraînements de limons [1], qu'on

la capacité d'approvisionnement de ce cours d'eau? Ne devrait-on pas, en bonne règle, au prix de revient déjà si élevé des terrains ainsi gagnés à la culture sur les grèves de l'Isère, ajouter la valeur perdue en retenue, qui, sur la base de prix des réservoirs artificiels, ne serait pas inférieure à 10 millions?

[1] La Durance, à raison de 10 millions de mètres cubes par an, n'a jamais cessé de charrier une masse de limons qui, cumulés pendant la période géologique actuelle, auraient suffi à renouveler trois fois la terre végétale de la France entière. Une telle quantité d'alluvions ne saurait provenir d'un sol arable déjà formé; en trente ans elle épuiserait la terre cultivable des deux départements où se ramifient les torrents alimentaires de la Durance, qui ont toujours été ce qu'ils sont aujourd'hui, une de nos plus pauvres régions agricoles.

a considérés comme une cause d'appauvrissement pour les lieux hauts; tandis que, à la condition de les bien aménager dans les parties basses des vallées, ils peuvent et doivent être pour elles une source inépuisable de richesse. Il suffit de parcourir les montagnes, de se rendre compte du rôle que peuvent jouer dans l'agriculture ces couches de marnes, d'argiles, de poudingues, dans lesquelles les torrents creusent leur lit, pour n'avoir pas à regretter leurs érosions, pour comprendre que ces montagnes dénudées ne sont que des amas inépuisables d'engrais qui, sans valeur tant qu'ils restent isolés les uns des autres, en acquièrent une énorme du moment où ils ont été triturés, mélangés, mis en œuvre par les eaux des torrents.

Les crues diluviennes, en amoncelant les débris des formations supérieures, ont produit toutes les terres arables de nos vallées, de nos plaines les plus riches. Les crues actuelles sont chargées de compléter cette création parfois imparfaite, de lui fournir les éléments qui lui manquent, de remplacer ceux qui ont été épuisés par la culture. Envisagé à ce point de vue, il n'est pas un de nos cours d'eau qui ne soit pour la partie basse de son bassin ce que le Nil est pour l'Égypte : le créateur et le nourricier de sa fécondité. Plus la constitution géologique des montagnes qui forment la ceinture d'un bassin est variée, plus les terres arables qu'elle contient doivent être fertiles, plus les eaux limoneuses des inondations doivent être riches et fécondantes. Ne nous plaignons donc pas de cet excès de richesse ; ne regrettons pas de voir mettre au jour une partie des trésors que nos montagnes recélaient dans leur sein ; occupons-nous plutôt de maintenir ces alluvions fertiles sur le champ de la production agricole, au lieu de faire tous nos efforts pour les rejeter loin de nous, dans les abîmes de la mer.

CHAPITRE IX

TRAVAUX A EXÉCUTER DANS LA ZONE INTERMÉDIAIRE DE COMPENSATION. — DÉFENSE DES LIEUX HABITÉS.

LV.

On s'est beaucoup occupé, dans ces derniers temps, de la question des inondations. S'il n'a été beaucoup fait, il a du moins été beaucoup écrit sur ce sujet. On s'est, à notre avis, grandement mépris le plus souvent sur la solution du problème. Ce n'est point, en effet, dans la partie haute des bassins qu'il faut la chercher, mais dans leur région inférieure. Le but n'est pas tant d'atténuer l'intensité des crues dans les affluents torrentiels, de les éteindre, pour nous servir d'une expression consacrée, que d'utiliser, au profit de l'agriculture, les riches et fertiles limons qu'ils entraînent, ou pour mieux dire qu'ils produisent de toutes pièces par le mélange mécanique opéré dans leurs flots bourbeux.

Laissant de côté la région des montagnes, d'où partent ces alluvions fécondantes, nous devons nous borner à les consolider, à les préserver sur les points où elles se sont déposées, à les retenir, à les fixer sur ceux où elles n'existent pas encore.

De là, dans cette partie de notre travail, deux grandes divisions se rapportant à celles que nous avons déjà établies

en étudiant les conditions dans lesquelles s'opèrent les dépôts d'alluvions : en premier lieu, la partie moyenne des vallées où ces alluvions ont acquis toute leur puissance, où existe un équilibre plus ou moins stable entre les forces d'entraînement et de dépôt; en second lieu, les parties basses, les embouchures, où les alluvions n'existent pas partout à l'état de terres arables, qu'il s'agit d'améliorer, d'émerger complètement, en dirigeant et régularisant les dépôts limoneux que les fleuves opèrent naturellement à leur débouché dans la mer.

La question des changements climatériques qui ont pu se produire dans nos contrées depuis les temps historiques a été très-vivement controversée. Les conclusions si différentes auxquelles on est arrivé de part et d'autre prouvent que la question n'a pas été bien posée, qu'on en a méconnu les éléments principaux.

Le progrès de la culture et surtout le déboisement, auxquels on a voulu faire jouer un si grand rôle, ne nous paraissent avoir exercé qu'une influence toute locale, très-restreinte, plutôt hygiénique que météorologique, sur le régime d'alimentation des cours d'eau.

En dehors du plus ou moins d'humidité habituelle des couches inférieures de l'atmosphère, les conditions qui amènent les grandes pluies, qui occasionnent les débordements des rivières, sont dues à des circonstances en dehors du pouvoir de l'homme. Nous ne pouvons rien sur les phénomènes atmosphériques qui les déterminent. Toutes choses égales d'ailleurs, la quantité d'eau pluviale tombée en un même point a dû toujours être moyennement à peu près ce qu'elle est aujourd'hui. Il en est de même du régime des affluents supérieurs, compris dans la région des montagnes.

Il ne dépend pas de l'homme d'arrêter ou même de ralentir notablement le cours de ces torrents subdivisés à l'infini, courant à toute vitesse sur les flancs des rochers ou dans les mille replis des montagnes; mais il lui est permis de modifier les conditions d'écoulement des masses d'eau réunies dans le lit des rivières principales. Dans ces régions moyennes, où la pente longitudinale diminue, le courant non-seulement n'a plus assez de force pour nettoyer et balayer jusqu'au vif les dépôts diluviens qui occupent le fond de la cuvette solide de la vallée, mais il est même obligé de laisser déposer une partie des débris arrachés aux régions supérieures.

Cette zone intermédiaire est la plus intéressante de toutes au point de vue agricole, car c'est celle où se trouvent nos meilleures terres, nos plus riches cultures. Nous y reconnaissons à chaque pas une corrélation directe entre le régime de la rivière et l'état des rives, état qui, comme nous l'avons dit (XXIII), dépend de la pente ou déclivité de la vallée, et de la résistance superficielle ou latérale des berges. Nous le verrons tout à l'heure, rien n'est plus facile, sinon en pratique, du moins en théorie, que de changer la pente ou la vitesse du cours d'eau. Quant à la résistance des rives, elle est intimement liée à la nature des cultures.

Prenons pour exemple une vallée à grande pente, caractérisée par un lit large et peu profond, des berges plates submersibles, légèrement inclinées vers le thalweg. Supposons que, par une transformation bien simple, on vienne à arroser ces graviers, ces terres sablonneuses, qui ne doivent leur stabilité qu'à l'orientation de leurs particules suivant le sens du courant des crues. Par le fait seul du changement survenu dans la production agricole, le terrain

offrira une bien plus grande résistance à l'entraînement; des dépôts successifs s'y formeront, en exhausseront de plus en plus le niveau, constituant de véritables formations limoneuses qui encaisseront peu à peu la rivière dans un lit relativement étroit et profond, resserré entre des berges élevées, de moins en moins submersibles.

Des constructions de digues, des barrages, des plantations, mille autres causes peuvent produire les mêmes résultats, amener les mêmes transformations dans le régime d'une rivière, et la main des hommes doit chercher par tous les moyens possibles, indépendamment de toute théorie, par un simple empirisme, à activer ce résultat, à augmenter l'étendue des terres arables, à les mettre de plus en plus à l'abri de l'atteinte des crues.

De pareils effets ont dû se produire sur toutes nos rivières. Les eaux qui s'étendaient autrefois librement sur les graviers ou dans les marais des rives, ont été concentrées dans un lit de plus en plus étroit. En même temps que l'espace qui leur était réservé venait à être réduit, leur écoulement était accéléré. Les crues ont dû regagner en hauteur et en vitesse ce qu'elles perdaient en largeur et en durée. Leur niveau s'est partout élevé, et cet exhaussement est devenu d'autant plus évident, a été d'autant plus remarqué, qu'il a été naturellement rapporté aux repères fixes des habitations, dont les seuils invariables, les rues pavées, ont rarement suivi ce relèvement graduel de la vallée.

LVI.

Telle est la véritable explication des faits en apparence si contradictoires de la statistique. L'intensité des pluies est restée toujours à peu près la même, les conditions d'écoulement des crues ont seules été modifiées. Par le fait même des améliorations agricoles, le lit des fleuves s'est resserré et leurs berges se sont exhaussées. Les lieux habités, ayant en général conservé leur hauteur primitive, pendant que le niveau des terres et plus encore celui des crues s'élevaient autour d'eux, les inondations ont dû paraître de plus en plus terribles et redoutables; et cet état d'abaissement relatif ne fera malheureusement que s'accroître à mesure que des travaux plus considérables ou mieux entendus seront entrepris pour améliorer les terres riveraines. Cette considération peut seule nous rendre compte d'un fait au premier abord inexplicable, celui de l'existence, dans le champ même des inondations de nos rivières, d'un grand nombre de centres de population qu'il eût paru si facile de mettre à l'abri des eaux, en les établissant le plus souvent à de très-faibles distances de leur emplacement actuel, sur le flanc des coteaux qui bordent la plaine submersible.

On ne saurait attribuer un tel état de choses uniquement à l'imprévoyance des premiers habitants; il est bien plus naturel d'admettre que l'emplacement de ces localités se trouvait, à l'origine, en dehors de la zone des inondations. Les submersions ne les ont atteintes que peu à peu, à mesure que les terres d'alluvion sur lesquelles s'épanchent les eaux d'inondation, se sont successivement élevées et élargies en recouvrant la base des coteaux.

Il faudrait bien se garder de confondre ce relèvement

général des rives avec l'exhaussement prétendu du lit des fleuves. Rien n'est en général plus difficile à détruire qu'un préjugé qui paraît s'appuyer sur l'opinion d'une grande autorité scientifique, quand bien même il ne reposerait que sur une fausse interprétation d'un texte mal compris. Tel est, à notre avis, le sens donné par Cuvier à un passage de Prony, signalant un exhaussement général du lit du Pô, qui se trouverait aujourd'hui plus élevé que le toit des maisons de Ferrare. M. Comoy, dans son article déjà cité[1], s'appuyant sur l'autorité de M. Lombardini, a déjà fait justice de cette assertion erronée.

Ainsi que nous l'avons vu, les fleuves au voisinage de leur embouchure, dans la zone de dépôt, s'encaissent d'eux-mêmes entre leurs propres alluvions, et il est au pouvoir de l'homme de faciliter cette action naturelle en complétant l'endiguement par des moyens artificiels. Les crues, retenues entre les berges de plus en plus exhaussées, atteignent un niveau très-supérieur à celui des plaines latérales qui, commençant au pied extérieur des digues, présentent en outre une pente transversale prononcée vers les coteaux qui limitent la vallée.

Tel est l'unique phénomène qu'à sans doute voulu signaler M. de Prony. Les ingénieurs qui, donnant un autre sens à ce passage si souvent cité, ont voulu vérifier, par la comparaison des profils et des ouvrages pris à diverses époques, si le plafond du lit s'était réellement exhaussé ou abaissé pendant une période déterminée, n'ont pu arriver à aucune conclusion précise, soit dans un sens, soit dans l'autre. Il ne pouvait en être autrement, car rien n'est plus variable que ce plafond mobile, tour à tour affouillé et rem-

[1] *Annales des Ponts-et-chaussées*, 1860, 2e semestre.

blayé suivant l'état relatif de diverses crues successives. Le raisonnement mieux que l'observation doit rendre compte de la réalité des faits. A mesure que l'exhaussement naturel ou artificiel des digues tend à restreindre les déversements latéraux, à concentrer une plus grande masse d'eau dans le lit principal, la section, à pente superficielle égale, doit devenir plus grande. La force d'entraînement augmentant, le plafond dans son ensemble doit être plus profondément affouillé, doit s'abaisser plutôt que se relever.

Tel serait bien certainement le résultat qu'on aurait à constater sur le Pô à Ferrare, si, toutes choses égales d'ailleurs, on pouvait, après deux séries de crues identiques, comparer le profil moyen du plafond actuel à ce qu'il pouvait être avant que l'endiguement fût complet. La confirmation de cette conséquence théorique des lois les plus simples de l'hydraulique serait bien plus convaincante encore si on pouvait la faire à deux siècles de distance sur le Mississipi, dont le lit actuel, sur l'emplacement de la barre existant lors de la découverte de l'Amérique, se trouve affouillé à plus de 30^m de profondeur.

Si à de tels exemples on pouvait joindre celui d'un plus modeste cours d'eau, nous citerions la petite rivière du Vidourle, dont les paisibles débordements ont créé à l'extrémité occidentale du delta du Rhône des atterrissements limoneux d'une superficie de 5 à 6 000 hectares dans les deux départements du Gard et de l'Hérault. Pour mettre ces terrains à l'abri des inondations, les États de Languedoc firent élever à grands frais des digues latérales à peu près insubmersibles. Les résultats de ce travail sont plus faciles à apprécier que partout ailleurs sur cette rivière, dont les crues sont considérables et le débit d'étiage presque nul. Les biefs qui séparent les barrages

des usines présentent de longues nappes d'eaux profondes, sensiblement stagnantes et horizontales en été. Le plafond du lit s'est notablement creusé. Le nivau d'étiage s'est abaissé[1] en même temps que s'élevait celui des crues.

Les mêmes phénomènes ont dû se produire, bien que d'une manière moins marquée, en amont de la zone de dépôt, dans la partie intermédiaire du lit des fleuves. En dehors de quelques exceptions, toutes dues à des actions géologiques particulières, telles que des envahissements anormaux de galets ou de sables quartzeux, les rivières, depuis les temps historiques, ont donc plutôt abaissé que relevé le plafond de leur lit. En revanche, elles ont exhaussé leurs rives plus que ne se sont relevés parallèlement les sols des villes riveraines[2].

[1] Dans les travaux d'endiguement de l'Isère cités plus haut (LIV), l'abaissement du plan d'eau résultant de l'approfondissement du lit s'est manifesté non-seulement à l'étiage, mais pendant les crues. Il est d'ailleurs bien évident que cet effet inattendu n'a pu se produire que sur l'étendue même des travaux. En aval, dans les parties déjà endiguées antérieurement, le niveau des crues a dû se relever à raison de la plus grande quantité d'eau à écouler dans un même temps, conséquence d'une réduction de 100 millions de mètres cubes dans la capacité des retenues supérieures.

[2] Bon nombre de localités situées dans les principales vallées du département de l'Hérault, dont l'existence remonte au moyen âge et même plus loin, ont conservé le niveau primitif de leurs rues intérieures, facile à constater par les seuils invariables de constructions anciennes et de date certaine. Les inondations qui les atteignent aujourd'hui ne peuvent être attribuées qu'au relèvement graduel de la plaine submersible environnante.

Telle est la petite ville de Florensac, sur la rive gauche de l'Hérault, à 2 kilomètres de la rivière, bâtie, partie au pied, partie sur le flanc du coteau faiblement incliné qui limite la vallée.

Lors de la première installation des habitants, l'emplacement choisi par eux était certainement insubmersible, sans quoi ils l'auraient remonté plus haut sur le versant du coteau.

On pourrait nous objecter, il est vrai, des exhaussements bien constatés dans le niveau des rues de certaines villes, mais ce phénomène est loin d'être général. Dans les lieux où il s'est produit, il a été motivé par le fait même du relèvement des crues, qu'il n'a suivi que de loin, au lieu de le précéder.

LVII.

L'exhaussement relatif des vallées submersibles, par rapport au niveau des lieux habités, est l'expression d'une loi qui, bien qu'elle puisse présenter quelques exceptions, n'en est pas moins générale.

Nous sommes donc amené à distinguer, en ce qui concerne les inondations dans les vallées d'alluvion, deux choses essentiellement différentes et qui malheureusement ont été bien des fois confondues : d'une part la défense des centres

Les dépôts des crues ayant successivement relevé le niveau du plan incliné s'étendant jusqu'à la rivière, les eaux, refoulées vers la gauche, n'ont pas dû tarder à atteindre les maisons les plus basses. En vue de les défendre et de mettre à l'abri une partie du territoire environnant, on construisit, vers le milieu de la plaine submersible, à une époque qui nous est inconnue, mais fort ancienne, une digue longitudinale se rattachant au coteau par l'amont.

Nous ignorons pendant combien de temps cette digue a rempli son office ; elle est en ce moment presque partout enfouie sous les limons. Des sondages nombreux nous ont permis de constater un exhaussement moyen de $1^{m},50$ sur tout l'espace compris entre elle et l'Hérault.

Les eaux d'inondation, s'écoulant autrefois dans le lit majeur qui leur avait été menagé, surmontent aujourd'hui la digue de toutes parts et se déversent dans l'enceinte réservée, dont le sol ne s'est encore que faiblement relevé. Ainsi repoussées au pied des coteaux, ces eaux y produisent des inondations dont le niveau atteint parfois une hauteur de plus de 4 mètres dans les quartiers bas de Florensac, qui très-certainement étaient à peu près insubmersibles lorsque les rues de cette localité ont été pour la première fois fixées et pavées.

de population, d'autant plus exposés que la hauteur des crues s'accroît chaque jour en raison de l'exhaussement des plaines latérales; d'autre part l'amélioration agricole des terres cultivables, conséquence de cet exhaussement même. Par de nombreux ouvrages dont nous parlerons tout à l'heure, on peut activer ce relèvement du sol, mais on ne saurait le favoriser sans réserve, tant qu'on n'aura pas pris des mesures pour mettre les populations à l'abri de la crue des eaux.

Après avoir longtemps discuté sur le problème général des inondations, c'est sur ce point particulier de la question que paraissent s'être concentrés tous les efforts. Laissant les régions supérieures et les plaines submersibles des vallées livrées à elles-mêmes, on s'est attaché à défendre les lieux habités. De nombreux projets ont été déjà présentés, et des travaux entrepris. Malheureusement, le système généralement suivi nous paraît aller contre le but qu'on doit avoir en vue. L'établissement des digues de ceinture insubmersibles, à part les dépenses considérables qu'il entraine, ne peut faire éviter les dangers du moment, que pour amener de véritables désastres, le jour où ces digues, étant enfin surmontées ou rompues, produiront des inondations d'autant plus élevées que les obstacles à franchir auront été eux-mêmes portés plus haut.

Loin de nous cependant la pensée de dire qu'il n'y ait rien à faire; que les localités aujourd'hui atteintes par les inondations soient destinées à être entièrement abandonnées dans un avenir plus ou moins éloigné. Telle ne saurait être notre conclusion. Dieu merci, le mal ne nous paraît pas sans remède; mais à la condition de changer complètement de système; de ne plus s'efforcer à vouloir enfermer à grands frais les centres de population dans des digues

extérieures insubmersibles ; d'admettre au contraire qu'à mesure que le sol des vallées s'exhausse, il faut que celui des villes, aujourd'hui stationnaire, s'élève encore davantage.

Ce ne sont point les remparts, les digues de défense qu'il faut relever et renforcer ; c'est le sol même des rues qu'il est nécessaire de remblayer à de grandes hauteurs, en abandonnant au besoin tous les rez-de-chaussée, sauf à les transformer en caves souterraines.

On ne devrait donc plus s'attacher à isoler les populations dans une sorte de puisard assiégé de tout côté par les eaux des crues, qui, pour peu qu'elles aient quelque durée, finiront par pénétrer dans cette enceinte, sauf à n'en plus sortir qu'avec peine. Il faudrait au contraire faire de chaque ville une île entièrement insubmersible s'élevant au milieu des inondations. Tels sont ces villages de la Basse-Égypte bâtis sur des éminences artificielles, qui depuis plus de quatre mille ans bravent les débordements d'un fleuve sur lequel se produisent, avec plus d'intensité, des phénomènes de même nature que ceux que nous voyons se renouveler sous nos yeux.

Ce moyen héroïque, consistant à sacrifier au besoin un étage des habitations pour sauver le reste, peut au premier abord paraître impraticable et devoir soulever de nombreuses objections. Pour peu qu'on veuille y réfléchir cependant, on reconnaîtra qu'il ne présente aucune difficulté sérieuse d'application. La dépense, en premier lieu, réduite aux remblais et aux maçonneries qu'exigerait le comblement des rues, ne saurait être très-considérable, eu égard à la valeur relative des habitations qui les bordent. Quant au sacrifice qu'auraient à faire les propriétaires des maisons submersibles, en abandonnant leur rez-de-chaussée,

il serait en réalité beaucoup plus apparent que réel. Avec la perspective d'être inondés, même à de lointains intervalles, de tels appartements sont à peu près sans valeur. Une fois atteints par les eaux, ne serait-ce que pendant quelques minutes, ils restent imprégnés d'humidité et demeurent inhabitables pendant plusieurs mois. Les marchandises, les meubles sont perdus lorsqu'on n'a pas eu le temps de les retirer ; les enduits, les papiers, les tentures, les boiseries, le sont dans tous les cas.

Dans de telles conditions, des rez-de-chaussée submersibles sont d'une bien moindre ressource que ne le seraient des caves bien closes, n'ayant accès que par leur partie supérieure, pouvant rester plusieurs jours au-dessous du niveau extérieur des inondations sans être envahies par les eaux.

Les propriétaires ne tarderaient pas à comprendre qu'un exhaussement général du sol au-devant de leurs maisons cesserait de leur être préjudiciable, ou du moins serait racheté par des avantages plus grands, s'il était général, si l'on relevait de la hauteur moyenne du rez-de-chaussée le sol des principales rues, de manière à transformer en caves des appartements qui, pour le moment, ne sont qu'une gêne et un embarras.

Le plus souvent, en effet, on ne demanderait pas mieux que d'abandonner les parties basses des maisons ; mais dans les villes aussi bien que dans les villages, il est beaucoup d'industries qui ne peuvent avoir leur siége que dans des boutiques, des magasins au niveau de la voie publique, et qui sont forcément obligées d'occuper les rez-de-chaussée actuels, à quelques chances de ruine que puissent les exposer les inondations.

De là, pour les quartiers submersibles, une cause d'infé-

riorité manifeste, en même temps qu'une perspective de plus-value immédiate, plus que suffisante en général pour couvrir les frais de toute nature qu'entraineraient l'exhaussement général de la voie publique et le remaniement des maisons qui la bordent.

A voir les magnifiques résultats de la transformation complète que subissent nos grandes villes, dans un simple intérêt d'embellissement, que ne devrait-on pas attendre de travaux analogues qui auraient moins en vue l'élargissement ou la rectification, que l'exhaussement, l'assainissement des rues basses, humides, malsaines, formant en général les quartiers les plus populeux de nos vieilles cités?

Nous ne voudrions pourtant pas prendre des conclusions trop absolues. La conséquence de notre théorie n'est nullement qu'il faille, sans désemparer, remanier d'un seul coup toutes les rues d'une ville sujette aux inondations; l'essentiel serait d'adopter un plan d'ensemble ayant en vue ce relèvement graduel, en commençant de préférence par les quartiers extérieurs. Les digues d'enceinte seraient maintenues, dans ce système, non plus comme remparts isolés, uniquement destinés à repousser l'inondation, mais comme boulevards bordés d'habitations, sinon des deux côtés, du moins de celui de la ville, formant des voies publiques, dont le sol exhaussé se rattacherait au niveau des vieilles rues, en attendant qu'on pût relever ces dernières à leur tour.

LVIII.

Le système actuellement suivi, celui des digues muraillées, n'ayant que l'épaisseur nécessaire pour résister à la poussée des eaux, peut avoir parfois sa raison d'être, lorsqu'il permet d'utiliser des constructions existantes, lorsqu'il

assure le maintien ou la restauration d'un monument historique, comme les remparts d'Avignon.

Dans le cas encore où la ville à défendre est située en rase campagne, loin du fleuve, et où la digue de ceinture peut être reculée à une certaine distance des habitations, les inconvénients que nous avons signalés peuvent être bien amoindris.

Mais si l'espace manque, si les digues doivent être accolées à des voies publiques existantes, empiéter par exemple sur un quai déjà trop étroit, et c'est une circonstance qui se présente très-fréquemment, il est aisé de concevoir combien doivent être aggravées les nouvelles servitudes imposées à la propriété.

Lorsque le cours d'eau n'est qu'un simple torrent, analogue aux Gardons des Cévennes, la banquette de secours peut être établie sur la crête même du mur de soutènement du quai. Nous pourrions citer des exemples nombreux de parapets de ce genre, parfois très-élevés, dont le moindre défaut est de priver les voisins d'air et de lumière, de leur enlever la vue et l'accès du cours d'eau, avec lequel ils ne peuvent plus communiquer pour les besoins de leurs industries que par d'étroits pertuis ménagés de distance en distance et disposés pour être fermés par des poutrelles en temps de crue. Bienheureux si, au prix d'une gêne permanente, les riverains peuvent compter avec sécurité sur l'abri de cette frêle barrière, s'ils n'ont pas à redouter de la voir rompue ou surmontée par une crue, auquel cas les eaux, tombant sur leurs habitations de tout leur poids, font d'autant plus de mal qu'elles ont été contenues à un niveau plus élevé.

Si fâcheuse que soit la situation ainsi faite aux riverains d'un torrent, elle n'est rien en comparaison de celle qui

attend les constructions longeant un fleuve navigable, lorsqu'on est obligé de maintenir un chemin de halage en même temps qu'une rue.

Ce n'est plus un simple parapet, conservant au moins à la voie publique toute sa largeur, qu'il faut établir sur l'arête extérieure du quai, mais une banquette ayant parfois plusieurs mètres de hauteur, qu'on doit asseoir en son milieu, qui divise ce quai en deux parties : du côté du fleuve, un étroit marche-pied ; du côté des maisons, une ruelle humide et malsaine entre les hautes murailles qui l'encaissent.

Une telle banquette mettant à l'abri les habitants des quartiers intérieurs, en arrière de la ligne des quais, peut être pour ceux-ci de quelque utilité; mais cet avantage est en général trop chèrement acheté par les pertes que fait éprouver à la ville dans son ensemble, et aux riverains du quai en particulier, l'énorme dépréciation dont les immeubles de ces derniers se trouvent frappés.

C'est surtout dans de telles circonstances qu'il nous paraîtrait utile de recourir aux dispositions que nous venons d'indiquer. Au lieu de scinder le quai en deux parties, l'une et l'autre insuffisantes pour le double courant de circulation qu'elles doivent desservir, nous voudrions qu'on l'exhaussât sur toute sa largeur, en reportant sa plate-forme au niveau moyen des premiers étages de toutes les maisons, dont les fenêtres pourraient être à peu de frais changées en portes donnant accès sur une voie large, aérée, ayant vue sur le fleuve, en libre et facile communication avec lui.

Les propriétés riveraines acquerraient en fait une plus-value de sol et de position qui le plus souvent compenserait et au-delà les dépenses d'appropriation intérieure entraînées par la conversion en caves des rez-de-chaussée et l'exhaus-

sement éventuel d'un étage, nécessaire pour regagner en hauteur les appartements perdus dans le bas.

Les quartiers intérieurs de la ville seraient eux-mêmes beaucoup mieux préservés dans ce système qu'ils ne le seraient par une banquette médiane; car les maisons remblayées à l'alignement du nouveau quai, constitueraient une seconde ligne de défense suffisante pour parer à la possibilite d'une crue anormale qui viendrait à dépasser le niveau de l'exhaussement, dont l'expérience du passé aurait démontré la nécessité absolue.

On nous objectera peut-être qu'une pareille transformation ne serait pas en général acceptée par les propriétaires, auxquels on ne saurait l'imposer sans avoir à leur payer une indemnité préalable; tandis qu'on n'a rien à leur compter dans le système suivi. Il ne saurait y avoir là qu'une difficulté légale, que de meilleures dispositions législatives feraient aisément disparaître. Au point de vue des règles de l'équité, qui doivent être la base du droit administratif, il est inadmissible en effet que l'indemnité ne soit pas toujours proportionnelle au dommage réellement causé.

Or, si nous mettons en parallèle les résultats des deux systèmes, nous ne pensons pas qu'on puisse avoir de doutes à cet égard. Comparées comme valeur de sol et de position, des maisons enterrées jusqu'au premier étage, mais conservant accès sur un large quai marchand, dominant le fleuve à l'abri de toute atteinte des eaux, seront toujours infiniment supérieures à des maisons intactes, mais sequestrées de tout mouvement, reléguées sur le bord d'une ruelle fangeuse, en arrière d'une infranchissable clôture.

On concoit aisément les motifs qui nous empêchent de citer aucun exemple précis à l'appui de l'opinion que nous

venons d'émettre. Nous ne voudrions pas, dans une discussion purement théorique, faire intervenir la critique apparente de travaux qui ont été faits dans un mode opposé à celui que nous proposons, qui parfois peuvent avoir été déterminés par des circonstances locales dont il nous serait difficile de tenir compte.

Nous espérons qu'on appréciera notre réserve à cet égard, et nous laisserons au lecteur le soin de rechercher si, dans les ouvrages récemment exécutés, soit dans la vallée du Rhône, soit ailleurs, il n'est pas des cas où le système de relèvement général des voies publiques, quais ou boulevards, n'aurait pas été ou ne serait pas, dans l'avenir, préférable au système des banquettes de sûreté, des digues muraillées, généralement adopté aujourd'hui.

A défaut d'exemples modernes à l'appui de nos idées, nous pourrions d'ailleurs sans inconvénient en emprunter aux temps passés. Les États du Languedoc qui, dans les dernières années du XVIII^e siècle, ont mené à bien tant de beaux travaux hydrauliques, paraissent s'être parfois inspirés de vues analogues à celles que nous cherchons à faire prévaloir aujourd'hui.

Entre diverses entreprises, nous pourrions citer celle qui a eu pour but la défense de l'ancienne ville de Bédarieux contre les inondations de la rivière d'Orb et du torrent de Vèbres. Les quartiers existants ont bien été enfermés dans une digue de ceinture, mais on ne s'est pas contenté d'un simple bourrelet, d'une muraille; partout où l'état des lieux l'a permis, les digues ont été élargies et disposées de manière à recevoir des constructions qui en ont fait en peu de temps les rues principales de la ville neuve.

Rien ne serait, croyons-nous, plus facile que de généraliser ce procédé. On pourrait, en débutant, se borner à

substituer des boulevards de ceinture aux digues étroites qu'on construit aujourd'hui. La plus-value des emplacements créés paierait en général les frais de l'opération, qui peu à peu s'étendrait à l'ensemble des quartiers intérieurs, dont l'exhaussement graduel devrait résulter d'un plan général combiné d'avance.

CHAPITRE X

AMÉLIORATION DU SOL ARABLE DANS LES PLAINES SUBMERSIBLES DES VALLÉES.

LIX.

Le problème ainsi résolu quant à la défense des centres de population, la nécessité d'un exhaussement artificiel du sol une fois bien constatée, la différence du plus ou moins de hauteur ne devrait pas augmenter notablement le sacrifice. Nous avons dès-lors toute latitude pour traiter la question plus générale de l'amélioration du sol des vallées par une modification du régime de la rivière en temps de crue. Pour peu qu'on veuille se reporter aux explications que nous avons données, on reconnaîtra que ce changement est toujours réalisable. A la condition d'admettre un exhaussement convenable des terres riveraines, et parfois certains changements dans les cultures, on peut, au moyen d'ouvrages déterminés, graduer à volonté la hauteur des submersions et la vitesse du courant.

Ce n'est plus là qu'une question de dépenses, un choix à faire entre les nombreux modes de travaux déjà employés, digues transversales ou longitudinales, submersibles ou insubmersibles, épis ou barrages ; à cet égard nous ne saurions rien proposer de nouveau. Nous ne pouvons que donner des indications sur la préférence à accorder,

suivant les circonstances, à tel de ces procédés plutôt qu'à tel autre.

Quelle que soit leur manière d'agir, qu'ils soient établis en vue de rompre les courants latéraux ou de les dériver, de resserrer le lit principal ou d'en exhausser le plafond, l'action de ces divers ouvrages peut, dans tous les cas, être ramenée à l'application d'un même principe de mécanique.

Ce principe n'est autre que la détermination de la perte de force vive qui doit forcément résulter de toute variation brusque et momentanée dans la vitesse d'un cours d'eau.

Tout changement de vitesse entre deux masses qui se succèdent avec des vitesses inégales, se traduit par un choc. La masse d'aval amortit l'excès de vitesse de la masse d'amont. Le résultat doit être une perte de force vive dont il est aisé de déterminer la valeur dans le cas de l'eau, car elle n'est autre chose que celle qui résulte du choc de deux corps mous. La nature essentielle de l'eau est en effet d'être un corps mou par excellence, sans élasticité.

Ce principe admis, tout obstacle, submersible ou non, transversal ou longitudinal, naturel ou artificiel, qui produit un étranglement momentané dans un courant d'eau, doit occasionner un remous à l'amont, une accélération de vitesse sur l'obstacle, et par suite un choc à l'aval.

La perte de force vive due à l'action directe du choc ou au frottement sur l'obstacle lui-même, se traduit par une dénivellation finale, dont la hauteur dépend des sections ou vitesses relatives dans les deux biefs d'amont et d'aval et sur l'étranglement.

Nous n'insisterons pas davantage sur ce principe d'hydraulique, qui nous paraitrait devoir servir de base pour la réformation de nos formules usuelles, établies pour la plu-

part sur un nombre insuffisant d'observations empiriques. Cet ouvrage n'est pas un traité de technologie. Il nous suffit d'avoir indiqué comment pourraient, à notre avis, se faire les calculs, sans avoir à déduire du principe les formules numériques applicables dans tous les cas[1].

[1] Pour donner une idée de la manière dont pourraient être établies ces formules, supposons une rivière de débit Q, qui, animée d'une vitesse V dans un lit de section uniforme S, soit obligée de franchir un obstacle réduisant momentanément la section à S' et nécessitant une vitesse plus grande V'.

Un remous total,

$$Z = \frac{V'^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} \qquad (1)$$

se produira en amont de l'obstacle, de manière à faire prendre au courant la vitesse accélérée V'.

L'obstacle franchi, la vitesse redeviendra V, et il se produira en sens contraire un contre-remous β, moindre que le remous primitif Z ; les masses d'eau animées de vitesses différentes donnent lieu, en effet, à des chocs qui doivent amener une perte de force vive analogue à celle qui se produit dans le choc des corps mous.

Si nous prenons l'expression générale de la force vive perdue dans cette hypothèse qui, comme nous le savons, est

$$\frac{mm'}{m+m'}(V'-V)^2$$

pour en faire l'application au cas particulier qui nous occupe pendant l'unité de temps, il faudra bien évidemment prendre pour la masse choquante $m = Q$, tandis que la masse choquée m', représentant toute l'eau du bief inférieur, peut être supposée infinie. En faisant substitution de ces quantités, la valeur de la force vive perdue qu'on peut représenter en fonction de la hauteur correspondante α, par $2Qg\alpha$, peut se mettre sous la forme

$$2Qg\alpha = Q\,(V'-V)^2$$

d'où la chute perdue, $\alpha = \frac{(V'-V)^2}{2g}$ (2)

Le contre-remous β, évidemment égal à $Z - \alpha$, sera représenté par

$$\beta = \frac{V'^2 - V^2}{2g} - \frac{(V'-V)^2}{2g} = \frac{2V(V'-V)}{2g} \qquad (3)$$

En multipliant plus ou moins les obstacles, les étranglements momentanés, on peut donc à volonté modifier la vitesse et la section, en un mot le régime d'une rivière en temps de crue, en même temps que la nature des rives, au point de vue de l'amélioration agricole.

Nous avons vu en effet (XXIII) que ces deux choses sont intimement liées l'une à l'autre; que les dépôts formés par les crues sont essentiellement dépendants du régime des eaux débordées : dépôts sablonneux à berges plates, in-

d'où l'on tire pour le rapport entre le remous et le contre-remous

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{2V}{V' + V} \qquad (4)$$

le rapport entre la chute perdue et le remous total sera de même

$$\frac{\alpha}{z} = \frac{V' - V}{V' + V} \qquad (5)$$

Ces formules théoriques, comme toutes les formules d'hydraulique, auraient peut-être besoin d'être modifiées par un coefficient empirique. A défaut d'expériences directes que nous regrettons de ne pas avoir eu occasion de faire, nous ne les produisons que sous toutes réserves. Il est d'ailleurs aisé de voir de quelles applications faciles elles peuvent être susceptibles, notamment la formule (2), qui peut par exemple servir à déterminer le débit d'une rivière par la seule observation directe du remous final α, produit par l'obstacle d'un pont ou d'un barrage noyé dans un lit régulier de section rectangulaire. Dans le cas particulier d'un barrage, en effet, si l'on appelle h et h' les hauteurs d'eau correspondantes du courant dans le bief d'aval et sur le seuil, on peut remplacer respectivement V et V' par $\frac{Q}{lh}$, $\frac{Q}{lh'}$ et la formule (2) devient

$$Q = l \frac{hh'}{h - h'} \sqrt{2g\alpha}$$

Dans le cas d'un pont, au contraire, la hauteur h étant sensiblement constante, si l'on représente par l et l' les largeurs de la veine totale et contractée, on aura

$$Q = h \frac{ll'}{l - l'} \sqrt{2g\alpha}$$

clinées vers la rivière si la vitesse latérale est grande; dépôts relativement limoneux et encaissants, si la vitesse latérale est faible.

La transformation du régime est une question d'argent, la modification des rives une question de temps. Ces deux éléments, le temps et l'argent, doivent entrer en sérieuse ligne de compte dans les projets à préparer; mais, dans tous les cas, le point important est de faire un choix judicieux entre les divers ouvrages que nous avons énumérés.

Ce choix varie suivant les circonstances; il doit dépendre du tact et de l'expérience de l'ingénieur. Nous ne saurions donner de règle fixe; tout au plus pourrons-nous hasarder, dans la deuxième partie de ce travail, l'exemple de nos recherches personnelles, dans quelques-unes des études que nous avons eu occasion de faire à ce sujet.

LX.

En attendant de passer à des exemples tout particuliers, pour mieux faire comprendre les principes que nous venons de poser, restons encore un instant dans les généralités. Dans cette hypothèse, admettons l'existence d'un cours d'eau conservant un caractère torrentiel, coulant dans une vallée large et régulière, rectiligne même, et d'une pente longitudinale assez considérable, eu égard au volume des crues, pour rentrer essentiellement dans la catégorie des vallées que nous avons désignées sous le nom de sablonneuses. Tels seraient, par exemple, certains des nombreux affluents qui, par leur réunion, forment la rivière du Gard dans le département de ce nom, les rivières torrentielles des Pyrénées-Orientales et partie de celles de l'Hérault.

Supposons d'abord un tel cours d'eau complètement livré à lui-même, et voyons comment il se comportera.

La rivière, en temps ordinaire, occupe un lit plus ou moins sinueux, plus ou moins central entre les deux coteaux qui bordent la vallée. En temps de crue, elle se déverse librement sur ses rives basses et sablonneuses. Laissées à elles-mêmes, sans culture, par l'effet d'une végétation naturelle, ces rives sablonneuses se couvriraient successivement d'oseraies et de plantations touffues qui, opposant aux eaux débordées une résistance sans cesse croissante, faciliteraient des dépôts limoneux de plus en plus stables.

Le cours d'eau perdrait peu à peu son caractère torrentiel, s'encaisserait de plus en plus entre des berges de moins en moins submersibles, résistantes à la surface, se rapprochant ainsi des conditions des rivières limoneuses; mais l'identité ne saurait jamais être complète.

Deux causes s'y opposeraient : la trop grande vitesse du courant principal et la mobilité du sous-sol primitif graveleux, et comme tel impropre à résister à un effort latéral. Les nouvelles berges, minées par le pied, s'écrouleraient de place en place, entraînant les arbres dont elles seraient couvertes.

Rongeant alternativement chacune de ses rives, la rivière ne se fixerait jamais complètement; elle userait son excès de force à détruire lentement, d'un côté, ce qu'elle aurait créé de l'autre.

Cet état des cours d'eau abandonnés à eux-mêmes, caractérisé par les quantités de bois plus ou moins considérables suivant leur importance, qu'ils charrient en temps de crue, nous le retrouvons dans toutes les rivières torrentielles des contrées où la civilisation n'a pas encore pénétré.

La vallée ainsi arrivée à ce que nous pourrions appeler son état de nature, admettons que l'homme intervienne, qu'il cherche à tirer le meilleur parti possible des terres riveraines chargées d'un épais et fertile limon. Sa première idée sera naturellement d'abattre les plantations qui les couvrent, pour leur substituer une culture plus productive. Tant que ces défrichements seront réduits à quelques clairières isolées, séparées du lit principal par des rideaux suffisants de végétation, cet essai pourra réussir. Mais, du moment où les cultures se développeront, où les terres limoneuses du sol mis à découvert seront soumises à l'action directe des courants de submersion, dont rien ne viendra ralentir l'impétuosité, ces terres seront enlevées avec une rapidité de plus en plus grande à chaque crue.

La rivière, jusque-là plus ou moins sinueuse, s'ouvrant de larges brèches d'une courbe à l'autre, balayera au loin ces formations meubles et légères, jusqu'à ce qu'elle ait mis à découvert le sous-sol inférieur, les graviers enchâssés, imbriqués les uns sur les autres, qui seuls, dans de pareilles conditions de pente, peuvent offrir au courant une résistance superficielle suffisante.

La vallée se trouvera ainsi découpée par plusieurs canaux secondaires entourant et rongeant successivement les vestiges des plantations restées comme autant d'îlots qui ne tarderont pas à disparaître à leur tour, dès que la culture essayera de mettre également à profit leur sol riche et fertile.

C'est entre ces deux termes extrêmes, l'état de nature et l'état de culture, que se débat ordinairement le sol des vallées analogues à celles dont nous venons de décrire le type général.

Sur l'emplacement d'une terre dévastée, dénudée jus-

qu'au gravier sec et aride, le propriétaire, sans se décourager, plante des boutures d'oseraies, d'aulnes, de peupliers, qui, trouvant à peu de profondeur une humidité constante sous un climat chaud ou tempéré, se développent avec rapidité et forment en peu d'années un bois de rivage composé d'arbres de belle venue, mais de peu de valeur forestière, reposant sur un sol éminemment fertile, dont la mise en valeur, sous une forme plus productive, ne peut manquer d'exciter la convoitise du cultivateur. Il le défriche, le plante en vignes, l'ensemence en céréales ou en luzernes, en tire de beaux produits, en fait une propriété des plus prospères, jusqu'à ce qu'une nouvelle inondation, ou plus forte que les précédentes, ou déviée de sa direction par les plantations que fait de son côté le propriétaire de la rive opposée, emporte en une nuit le sol qui avait été créé en vingt ans.

Une nouvelle période recommence ; la propriété se rétablit lentement au prix du même temps et des même sacrifices, pendant que sur la rive opposée la plantation rivale parcourt en sens inverse les mêmes phases de développement, de prospérité et de ruine.

LXI.

Comment pourrait-on remédier à ces conditions d'existence éphémère, dans lesquelles la période de bonne culture ne correspond probablement pas au tiers ou au quart des chômages ou époques de non-jouissance?

Si simple que nous ayons pu choisir notre exemple, il serait encore difficile de rien préciser de très-positif, en lui laissant sa généralité. Il faudrait tenir compte de la largeur de la vallée, des débits du cours d'eau, de sa pente

longitudinale, éléments complexes qu'il est impossible d'isoler les uns des autres.

Si, dans l'ensemble, le régime ne s'éloigne pas trop des conditions de stabilité qui distinguent les formations que nous avons appelées *limoneuses*, un moyen simple et en général facile de lui donner définitivement ce caractère, sera de recourir aux cultures fourragères arrosées, qui, dans de certaines limites, produiront la résistance superficielle nécessaire à un faible exhaussement des berges. Les rives resteront submersibles, tout en étant, par le fait de la culture adoptée, à l'abri de l'érosion des eaux. Si les rives, par suite de la mobilité du sous-sol graveleux, ont trop de tendance à être rongées par les courants longitudinaux, on y remédiera par un rideau de plantations qui suffiront pour les fixer, ou mieux encore par une zone étroite d'oseraies flexibles, qui opposent la même résistance aux courants et ne sont pas exposées à être déracinées comme les arbres de haute futaie.

Si le régime naturel s'éloigne un peu trop de l'état stable, pour qu'on puisse l'y ramener par un simple arrosage, on y suppléera par la construction de divers ouvrages destinés à amortir une partie de la force vive du courant. Tels sont les épis saillants, les digues transversales submersibles formées par deux talus accolés de pierres sèches enchâssées les unes sous les autres comme un pavé de blocaille, que l'on échelonne de distance en distance sur les rives. Ces ouvrages s'établissent de préférence dans les parties les plus étroites des prairies, aux points où l'on peut enraciner une de leurs extrémités dans la base du coteau qui limite la vallée, en même temps qu'on rejette vers le centre, dès leur origine, les courants latéraux qui tendraient à suivre la prairie dans toute son étendue.

Plus aisément encore on arrive au même résultat, lorsque, à de certains intervalles, on peut disposer en travers du lit de la rivière des barrages fixes en maçonnerie servant, soit à l'alimentation des usines, soit au service des irrigations successives.

Tel est, en effet, le résultat ordinaire de ces retenues, contre l'autorisation desquelles cependant les propriétaires riverains se soulèvent en masse, lorsqu'il s'agit de les établir pour la première fois dans des localités où il n'en existe pas. Sur toutes les rivières torrentielles où nous les avons vu construire en nombre suffisant, les barrages de dérivation pour usines ont promptement amené, comme conséquence secondaire, la fixation des rives. Ils ont déterminé l'établissement de prairies d'une grande fertilité qui, sous le climat de nos contrées méridionales en particulier, refoulant peu à peu les graviers, finissent par s'étendre jusqu'à l'extrême limite du lit d'étiage, de plus en plus rétréci. Sur les parties des mêmes cours d'eau où les usines n'ont pas encore pénétré, au contraire, les crues, balayant tout, ne laissent subsister qu'une plage aride de graviers, d'une montagne à l'autre.

Ce que le hasard, ou pour mieux dire l'installation fortuite d'une industrie étrangère, a parfois produit sur un grand nombre de nos petits cours d'eau torrentiels, rien ne serait plus facile que de l'imiter dans d'autres proportions sur des rivières plus considérables, sur les Gardons dont nous parlions tout à l'heure, sur nombre d'affluents torrentiels descendus de toutes nos montagnes du centre et des Alpes, sur certaines parties de la Durance peut-être.

De distance en distance il faudrait établir transversalement à la vallée des barrages solides et résistants, comprenant : en leur milieu, un pertuis déprimé pour le dé-

bouché du lit principal ; sur les deux rives, des digues submersibles ou insubmersibles suivant les conditions locales, mais venant en tout cas s'enraciner dans les coteaux, de manière à ne pouvoir être tournées.

Chacun de ces obstacles successifs créerait une chute déterminée, diminuant d'autant la pente longitudinale du cours d'eau, modifiant par suite considérablement les conditions d'existence de ses berges, permettant de substituer des prairies aux graviers, des terres arables aux prairies, suivant que les chutes seraient plus ou moins élevées, plus ou moins fréquentes. Il s'agirait, en un mot, de reconstituer le profil d'une vallée par des procédés analogues à ceux qu'on emploie en petit pour restaurer le fossé d'une route raviné par les orages. Une série de petites murettes en pierres sèches, dessinant à certains intervalles le type de la cuvette, suffisent pour amener la régularisation des talus et des arêtes de l'accotement. Tels seraient, sauf le temps et les difficultés pratiques de l'opération, les résultats des barrages échelonnés sur les rivières torrentielles.

Ces barrages spéciaux atteindraient bien plus sûrement le but que ne le font les barrages fortuitement construits pour le service des usines ; leurs conditions d'établissement ne seraient pas d'ailleurs rigoureusement les mêmes. Dans ces derniers, en effet, en vue d'obtenir un meilleur rendement et une moindre dépense en frais de premier établissement, on doit chercher à avoir la plus grande chute possible en temps d'eaux basses ou moyennes, la moindre dénivellation au contraire pendant les grandes crues. Si l'on se reporte à ce que nous avons dit ailleurs (xxv), on reconnaîtra aisément que ces conditions seront remplies en plaçant le barrage d'usine en tête d'un étranglement du lit submersible, à l'aval d'un élargissement.

Dans le cas d'un barrage exclusivement agricole, c'est surtout pendant la période de crue qu'on devra chercher à produire la plus grande dénivellation ou perte de chute, par l'effet d'une retenue. Il sera donc naturel de la placer à la sortie d'un étranglement, en tête d'un élargissement dans lequel les eaux ne puissent s'épanouir qu'en perdant un grand excès de leur force vive. On reporterait ainsi en entier, sur le radier résistant du barrage, un effet mécanique, qui dans l'état naturel se traduit par des affouillements et des érosions nuisibles.

LXII.

Jusqu'ici nous sommes resté dans les généralités. Comme exemple faisant mieux ressortir la portée de notre système, nous avons choisi, dans la seconde partie de cet ouvrage, le projet d'amélioration du vallon de Lagaunède sur la rivière d'Orb. Ce travail nous avait été demandé par un syndicat qui, suivant l'usage, n'a rien exécuté et n'exécutera probablement jamais rien des travaux dont nous lui avions signalé l'opportunité. Un résumé succinct de cette étude spéciale ne nous a pas moins paru utile pour bien faire comprendre l'application pratique qu'il serait possible de donner à des principes théoriques, dont l'exposé abstrait est nécessairement fort vague.

Par les mêmes motifs, fidèle à la règle que nous nous sommes imposée de nous occuper surtout des faits qui nous sont les mieux connus, nous n'abandonnerons pas cette question sans parler d'une classe générale de vallées qui se retrouvent en grand nombre dans le département de l'Hérault. Elles nous offriront des exemples très-remarquables, d'une part des relations qui existent entre le ré-

gime d'une rivière et la formation de ses rives, de l'autre, des modifications qu'un changement dans les cultures usuelles peut avoir sur les conditions de stabilité géologique du sol.

Le département de l'Hérault présente la série presque complète de toutes les formations géologiques, dont les affleurements successifs s'étagent en gradins sensiblement parallèles, depuis les terrains quaternaires du littoral jusqu'aux plateaux granitiques qui limitent au nord-ouest le massif des montagnes du centre, à une cote moyenne de 1000^m sur le plus grand nombre de points.

Deux vallées principales, l'Hérault et l'Orb, coupent ces terrains sur toute leur largeur et servent à écouler les eaux des gradins les plus élevés et les plus anciens dans l'ordre géologique. Un grand nombre de vallées de moindre importance sillonnent dans le sens de leur plus grande pente les terrasses inférieures des terrains tertiaires, et débouchent, soit dans les deux vallées principales, soit directement dans la mer ou dans les lagunes qui la bordent.

Ces vallées ont des longueurs variables qui restent en général inférieures à 25 ou 30 kilomètres. Leur pente longitudinale, qui atteint de 2 à 4^m par kilomètre, et parfois davantage, semblerait devoir les faire ranger dans la catégorie générale des vallées torrentielles ayant un lit large, peu profond, à berges plates et rives sablonneuses.

Deux circonstances locales sont venues modifier cette disposition théorique : d'un côté, la nature géologique des terrains tertiaires corrodés par les affluents supérieurs, qui ne donnent que des alluvions argilo-marneuses pauvres en silex ; d'autre part, le débit essentiellement variable des cours d'eau, qui, presque complètement à sec pendant plus de la moitié de l'année, sont sujets à des crues excessives

dont le débit normal par seconde s'élève à 20 litres par hectare de bassin, et peut parfois atteindre 150 ou 200 lit. dans le cas d'averses exceptionnelles, analogues à celle qui est tombée sur les affluents de la rive droite de l'Hérault le 29 octobre 1860.

Les crues les plus faibles, s'épandant librement dans une large vallée où elles ne sauraient conserver une grande vitesse dans les conditions habituelles, y laissent déposer leurs limons. Ces formations, qui dans le cas d'un régime sensiblement uniforme seraient essentiellement éphémères, se recouvrent au contraire, dans l'intervalle de deux crues suffisamment distantes, d'une puissante végétation herbacée, qui leur donne une résistance superficielle qu'elles n'avaient pas au moment de leur dépôt. Non-seulement elles ne sont plus entrainées par le retour de crues semblables à celles qui les ont produites, mais elles deviennent capables de lutter contre les inondations exceptionnelles, dont elles fixent les dépôts en couches successives, sans cesse reliées l'une à l'autre par le réseau de la végétation.

Comme effet final, ces vallées, laissées à elles-mêmes, présentaient encore, il n'y a pas cinquante ans, l'aspect d'une large prairie naturelle, sur laquelle les eaux d'inondation s'écoulaient en nappes paisibles, sans causer de dommages sérieux. A peine au milieu de la prairie existait-il parfois une étroite rigole servant à l'écoulement des eaux d'étiage, dont les berges plantées d'arbres, exhaussées par les dépôts successifs des débordements, formaient en réalité comme un double bourrelet saillant qui séparait en deux nappes distinctes les eaux d'inondation.

Sur certains points cependant, dans la partie inférieure de leur cours surtout, ces vallées avaient un lit depuis longtemps rectifié, creusé de main d'homme, parfois pro-

tégé par des digues longitudinales, qui suffisait à recevoir les crues les plus habituelles, mais ne pouvait que rarement contenir les inondations exceptionnelles, qui continuaient à s'écouler par déversement sur les plaines latérales.

Ces prairies naturelles restaient presque toutes également desséchées en été; mais au printemps, parfois même à l'automne, elles donnaient des produits d'autant plus abondants qu'on savait mieux mettre à profit les eaux de l'affluent pour l'irrigation, et que l'égouttage des eaux de colature se trouvait mieux assuré par la rigole centrale.

Tel était l'état des lieux lorsque le prix des vins, de plus en plus élevé, à mesure que le perfectionnement des voies de communication leur offrait de nouveaux débouchés, est venu généraliser la culture de la vigne dans le département de l'Hérault. Les propriétaires ont naturellement pensé à tirer meilleur parti de ces terres riches et profondes des vallées, de peu de rapport dans leur état de prairies, et qui transformées en vignes pouvaient donner annuellement 150 et jusqu'à 300 hectolitres de vin par hectare.

Une pareille perspective, qui dans ces dernières années s'est traduite parfois en revenus annuels de 5 à 6,000f par hectare, explique avec quelle rapidité a dû s'opérer la conversion des cultures, bien qu'elle dût nécessiter des frais de premier établissement considérables, car une vigne ne devient productive qu'après trois ou quatre ans de soins assidus.

La chance de gain était trop belle pour qu'une pareille considération pût intimider les propriétaires. Ils plantèrent à l'envi, défrichant les prairies partout où la chose paraissait réellement possible.

Les résultats pécuniaires furent de prime abord des plus

avantageux ; mais à mesure que la transformation se généralisa, elle produisit des désastres auxquels on n'avait pas songé, et qu'il eût été cependant possible de prévoir.

A part la perte des récoltes pendantes, surprises par les premières crues d'automne, les inondations causèrent de grands ravages. Les eaux débordées, qui glissaient autrefois sans l'entamer sur le sol résistant des prairies, affouillèrent au contraire et ravinèrent profondément un terrain rendu meuble par la culture.

Les propriétaires luttèrent courageusement contre le fléau, élevèrent digues sur digues pour se mettre à l'abri. De pareilles entreprises peuvent réussir isolément, lorsque rien ne les contrarie. Il est sans doute facile à un particulier d'abriter son domaine dans le champ de l'inondation, en refoulant toutes les eaux chez son voisin. Mais si ce dernier veut en faire autant de son côté, la lutte devient ruineuse pour tous les deux, sans aucun avantage pour l'intérêt général, car il faut bien que les eaux qui arrivent trouvent une issue pour s'écouler.

Ramenée à ces termes, la question de la plantation des vallées n'a plus été que la guerre du fort contre le faible. Les petits propriétaires, forcés de renoncer à imiter leurs voisins, ont assailli l'Administration de leurs plaintes, attribuant à de grandes perturbations physiques, à un prétendu bouleversement des saisons, à l'importance exceptionnelle et anormale de certaines crues, les désastres auxquels ils se trouvaient exposés, et dont la tradition n'annonçait pas que leurs pères eussent eu à souffrir.

Toutes les causes, possibles ou non, ont été alléguées, hormis la véritable. Les inondations ont toujours été, tout nous l'indique du moins, ce qu'elles sont aujourd'hui ; les conditions seules de la culture et de la résistance du sol ont

changé dans ces dernières années. La tradition locale ne peut avoir conservé le souvenir d'inondations qui s'écoulaient autrefois librement sur toute la largeur de la vallée, sans autre effet que d'en recouvrir les pâturages d'une mince couche d'alluvions fécondantes.

Si la transformation récente des cultures avait été instantanément complète sur tous les points, le mal se serait également réparti sur tous les intéressés et aurait été moindre pour chacun d'eux. Il n'en a pas été ainsi. Les principaux propriétaires, comme nous l'avons dit, ont pu se mettre à l'abri; les petits, abandonnés à eux-mêmes après d'inutiles efforts pour transformer leurs cultures, ont vu leur position première s'aggraver par l'accroissement du volume des eaux qu'ils avaient à recevoir.

LXIII.

L'Administration, mise en demeure de faire disparaître ces anomalies choquantes, a dû se préoccuper de prescrire des mesures d'ensemble qui jusqu'ici ont été inefficaces, ou, pour mieux dire, sont restées à l'état de lettre morte. La question est en effet fort délicate, et se complique de difficultés administratives. Laissant ces dernières de côté, examinant le problème au point de vue purement technique, sans nous préoccuper des moyens d'application, nous voyons que toutes les solutions proposées peuvent se ramener à deux systèmes différents : le premier, devant consister à cantonner les eaux d'inondation dans un espace réservé qui serait interdit à la culture; le second, à les répandre uniformément sur toute la vallée, en détruisant par des ouvrages convenables l'action érosive des courants longitudinaux.

Le premier système s'appliquerait surtout aux vallées les plus larges et dont le bassin a en même temps le moins d'étendue, de telle sorte qu'il fût possible de concentrer le débit des plus grandes crues dans un lit majeur de dimensions raisonnables. Au nombre des rares travaux d'amélioration agricole sérieusement efficaces dont il nous a été donné de mener l'exécution à bonne fin, nous pouvons citer, comme se rapportant à ce type, le curage et l'élargissement de la petite rivière de Pallas ou de la Morie, effectué, il y a peu d'années, sur le territoire des communes de Mèze et de Loupian.

Le bassin de la Morie a une superficie de 4 000 hect. Sa partie supérieure présente la forme d'un cirque sillonné par de nombreux affluents, encaissé entre des collines arides et escarpées, dont l'altitude varie entre 150 et 300^{m}. La plus grande longueur de la branche principale, depuis le faîte extrême de la vallée jusqu'à son embouchure dans l'étang de Thau, ne dépasse pas 25 kilomètres. Après sa jonction avec les autres affluents latéraux, ce cours d'eau suit une vallée sensiblement rectiligne de 3 500^{m} de longueur sur 3 à 400^{m} de largeur moyenne, présentant une superficie totale de 100 hectares, qui se trouvaient plus particulièrement exposés aux désastres des inondations. Le sol éminemment fertile de ce vallon avait été en effet presque entièrement converti en vignes, et la rigole formant l'unique lit réservé à l'écoulement des eaux, n'avait le plus souvent pas plus de 1^{m} de largeur, et se trouvait en outre obstruée par des ronces et des broussailles.

Cet étroit canal suffisait sans doute à l'écoulement des eaux d'étiage provenant du débit restreint de quelques sources; mais à la moindre crue produite par les orages d'automne, les eaux débordées se répandaient sur les terres

riveraines, détruisaient les récoltes lorsqu'elles survenaient avant les vendanges, ce qui se reproduisait fréquemment, et, en toute autre saison, ravinaient le sol.

Nous n'avons pas de données bien certaines sur le plus grand débit possible des crues de cette vallée; mais nous croyons pouvoir sans exagération prendre pour limite supérieure exceptionnelle le produit de 150 à 200 litres par hectare de bassin, que nous avons signalé pour les inondations de quelques affluents de l'Hérault. On ne saurait estimer à moins, soit à 6 ou 800 mètres cubes par seconde, le produit de la trombe qui, en septembre 1857, a éclaté sur le bassin de la Morie, et qui, dans la partie inférieure de la vallée, a produit un débordement de 2^m de hauteur sur 3 à 400^m de largeur. C'est surtout à la suite de ce grand cataclysme, qui avait bouleversé leurs terres, que les propriétaires s'occupèrent, avec un accord qu'il est malheureusement bien rare de rencontrer en pareille circonstance, d'effectuer quelqeus travaux d'ensemble, pour se mettre à l'abri du retour de pareils désastres. Sur l'axe de la rigole centrale, on a ouvert un nouveau lit de 5 à 6^m de largeur au plafond, et d'une profondeur moyenne de 3^m, dont les déblais retroussés en cavaliers ou digues latérales ont encore agrandi la cuvette. Dans son état actuel, ce nouveau lit, présentant une section de près de 40^m avec une pente moyenne de 3^m,30 par kilomètre, est en état de débiter un volume de 60 mètres cubes par seconde. Ce débit est sans doute très-inférieur à celui qui résulterait d'une averse exceptionnelle analogue à celle du mois de septembre 1857; mais cette dernière circonstance se reproduit très-rarement; depuis bientôt sept ans que le nouveau lit fonctionne, il a suffi à préserver les terres riveraines de toute submersion. Durant cette période, il ne s'est pourtant

pas écoulé une année dans laquelle il ne soit survenu quelque crue d'automne qui, si elle avait pu se répandre librement sur les vignes voisines, aurait détruit du tiers au quart de la récolte, représentant, année moyenne, 15 000 hectolitres au moins sur l'ensemble des terrains submersibles. Au prix moyen de 10 francs l'hectolitre, la valeur des récoltes sauvées pendant ces sept ans atteint 250 à 300 000 f. La dépense faite en travaux de curage n'a pas dépassé 30 000 f. L'opération a donc été des plus avantageuses pour les intéressés, et il serait à désirer qu'elle pût trouver des imitateurs.

L'exécution de cette petite entreprise a présenté une particularité remarquable, à raison de la pente exceptionnelle de la vallée, qui est en moyenne de 3m,30, et s'élève à 5m,00 par kilomètre, vers l'origine du recreusement. La vitesse théorique résultant d'une semblable pente devait faire redouter que la concentration des eaux dans un seul canal ne produisît des affouillements latéraux et des éboulements qui en peu de temps auraient détruit le nouveau lit et ramené la vallée à son état antérieur. Le Conseil-général des Ponts-et-Chaussées avait manifesté des craintes à ce sujet, et nous-même n'étions pas sans inquiétude. Ces tristes prévisions cependant ne se sont pas réalisées. Il s'est bien produit quelques affouillements, mais plutôt en profondeur qu'en largeur. Les berges latérales, à raison de leur consistance limoneuse, ont tenu bon dès les premières années, et n'ont pas tardé à acquérir une résistance de plus en plus grande, par le fait de la végétation qui s'est développée sur leur talus. Le fond lui-même a fini par se tapisser d'herbes et de broussailles sur certains points, par se garnir de graviers sur d'autres. Somme toute, la stabilité du lit paraît aujourd'hui définitive, tout au moins

dans les conditions intermittentes de débit auquel il est destiné.

Le succès de cette première tentative nous paraît même si concluant, que nous n'hésiterions pas à proposer l'emploi d'un recreusement analogue dans des vallées dont la pente longitudinale serait encore plus considérable, à la seule condition d'établir de distance en distance des barrages fixes en maçonnerie, se raccordant par des perrés aux talus latéraux, de manière à déterminer un certain nombre de seuils invariables qui limiteraient la profondeur des affouillements dans le plafond. Un barrage de ce genre, établi sur le nouveau lit de Pallas, pour le service d'une irrigation latérale, a produit d'excellents effets, et nous ne doutons pas qu'il n'y eût avantage à en généraliser l'emploi.

Après divers tâtonnements, sur la demande d'un certain nombre d'intéressés et sans que les autres aient fait opposition, l'ouverture du nouveau lit de la rivière de Pallas a eu lieu aux frais des riverains immédiats, chacun au droit de soi, sur sa rive, comme s'il s'était agi d'un simple curage à vieux fonds, vieux bords. Cette manière de procéder a été reconnue être la plus expéditive et la plus prompte ; mais la légalité ne saurait en être soutenue, bien qu'elle ait été, sur une moindre échelle, appliquée en quelques autres circonstances.

L'existence prétendue d'un lit normal et régulier, dont le fond et les vieux bords n'auraient été altérés que par le défaut d'entretien, est une pure fiction sur des cours d'eau semblables à celui de la Morie. L'ancienne rigole d'étiage, réduite à un étroit fossé, était en rapport avec le régime antérieur des crues de la vallée, s'écoulant en nappe sur un sol sans culture. Le nouveau lit est sans doute nécessité par les conditions actuelles du terrain, mais il ne saurait

être imposé aux seuls riverains comme un simple travail d'entretien. Légalement, la dépense aurait dû être répartie entre tous les propriétaires de terrains submersibles, contribuant chacun à raison de son intérêt, ce qui aurait nécessité l'organisation d'un syndicat fonctionnant, non plus d'après les conditions spéciales d'un usage local plus ou moins bien constaté, mais d'après la loi du 14 floréal an XI.

LXIV.

L'exemple que nous venons de citer, s'il prouve, au point de vue technique, les avantages d'un recreusement, ne saurait être invoqué comme un précédent, en fait de voies et moyens. On ne pourrait considérer comme devant recevoir des applications nombreuses, une méthode à laquelle le refus de concours d'un seul riverain nous eût sans doute forcé à renoncer.

Dans le cas d'une vallée plus étendue que celle de la Morie, il serait indispensable de recourir à l'organisation d'un syndicat régulier, et malheureusement nous avons pu constater, par expérience, combien il était difficile de constituer et de faire fonctionner une association de ce genre, dans une contrée où le mécanisme en est inconnu. Toutes les tentatives faites dans ce but ont échoué dans l'Hérault; et en l'état, une proposition tendant à l'organisation d'un syndicat y équivaut à une fin de non-recevoir.

Le système de simple recreusement, tel qu'il a été pratiqué sur la Morie, ne pourrait d'ailleurs s'appliquer que dans un petit nombre de circonstances. Il serait difficile, pour ne pas dire impossible, de concentrer dans un lit unique la masse des eaux que peuvent donner les crues d'un bassin plus important. Dans certains cas, il pourrait

être encore avantageux d'établir une cuvette destinée à recevoir les eaux moyennes, accompagnée de deux francs-bords limités par des digues insubmersibles. Le champ de l'inondation n'occuperait plus qu'une zone restreinte qui devrait être laissée à l'état de prairie naturelle, les terrains extérieurs pouvant être livrés à la culture de la vigne. Nous avons proposé, dans ce système mixte, l'endiguement de la rivière de Tongue sur une longueur de 2500^m, dans la commune de Saint-Thibéry. La section moyenne du lit majeur compris entre les digues serait de 100^m. Il pourrait, avec une vitesse moyenne de 2^m,70, débiter un volume de 270 mètres cubes par seconde, qui paraît être le produit probable des plus grandes crues.

La largeur de la vallée étant moyennement de 800^m, la zone extérieure propre à toutes les cultures représenterait une superficie de 185 hectares contre 15 hectares réservés à l'écoulement des crues entre les digues. La dépense totale est évaluée à 100 000^f, représentant une quote-part de 540^f par hectare de terrain défendu, non compris l'indemnité qu'il serait peut-être équitable d'attribuer aux propriétaires dont les terrains conservés dans le lit de crue supporteraient seuls l'inconvénient des inondations. Comparée à la plus-value totale qu'acquerrait le sol en dehors des digues, ce sacrifice n'aurait rien d'exagéré; mais, à raison des difficultés administratives de l'opération, il est fort douteux qu'elle puisse aboutir de longtemps.

Pour certaines vallées, — telles que celles de la Peyne, affluent direct de l'Hérault, de la Lenne, affluent de la Tongue, et autres qu'il serait inutile d'énumérer ici,—cette dernière combinaison ne saurait être appliquée. Par suite du débit relativement beaucoup plus abondant des crues ou du peu de largeur des terrains submersibles, la presque

totalité de la vallée devrait être comprise dans l'endiguement, et la plus-value des zones réservées ne couvrirait pas les frais de l'opération. Le seul procédé pratique à appliquer dans ce cas serait l'établissement de digues transversales qui, sans mettre les terrains à l'abri des submersions, les préserveraient de l'affouillement produit par les grandes crues et faciliteraient en outre l'exhaussement graduel des rives.

Nous ne croyons pas nécessaire d'insister sur ce point par de nouveaux exemples ; ceux que nous avons cités suffisent pour faire comprendre quelles sont les difficultés pratiques de la mise en valeur des terres riveraines dans les vallées dont nous avons cherché à esquisser le caractère général, et quels sont les moyens qui, d'une manière plus ou moins efficace, peuvent être employés avec des avantages très-variables suivant les circonstances locales.

CHAPITRE XI

MISE EN VALEUR DE LA ZONE INFÉRIEURE.

LXV.

Les développements qui précèdent, l'exemple, que nous citerons plus loin, du syndicat de Lagaunède, suffiront sans doute pour faire apprécier la valeur de nos idées et leur possibilité pratique.

Sur toute la partie moyenne des vallées, aux points où existe une sorte d'équilibre entre la force d'érosion et la force d'atterrissement du cours d'eau, nous avons vu que, par une simple modification du régime des crues, on pouvait arriver à la fixation et à la transformation plus ou moins rapide des terres riveraines, en les appropriant aux cultures les plus avantageuses pour la contrée. Le succès dans les opérations de ce genre n'est plus qu'une question de temps et d'argent. L'entreprise, toujours possible en théorie, sera d'autant plus exécutable en pratique qu'on saura mieux tirer parti des conditions locales et donner un double but d'utilité générale aux travaux, en mettant à profit, pour l'amélioration agricole, les constructions nouvelles qui s'exécutent en tant de points pour l'établissement des routes ou des chemins de fer.

Nous avons à nous occuper maintenant de la zone infé-

rieure des vallées, aux points où l'alluvion devient dominante, dans le voisinage des embouchures. Nous avons vu (chap. v) que deux nouveaux agents dont il est nécessaire de tenir compte, l'action de la mer et celle des vents régnants, viennent compliquer le régime de ces dernières formations.

Suivant que la mer dans laquelle débouche le cours d'eau est de niveau constant ou sujette à de fortes marées, l'embouchure est caractérisée : dans le premier cas, par un delta direct plus ou moins proéminent; dans le second cas, par un estuaire unique plus ou moins large, plus ou moins profond, ou par un delta en retour.

Dans l'hypothèse de la formation d'un delta, une partie notable des apports fluviaux sert à son accroissement tant en hauteur qu'en avancement. Dans le cas d'un estuaire, la presque totalité des alluvions est entraînée dans la mer par l'action du flot de jusant, sauf les sables, qui peuvent être rejetés à l'état de dunes sur les côtes voisines.

En somme, les formations sont de deux sortes, fluviales ou marines. Les formations fluviales ne se retrouvent en général que dans les embouchures à deltas. Les formations marines, au contraire, peuvent se produire dans toutes les circonstances : à la surface des deltas comme au voisinage des estuaires, dans les mers sujettes aux marées comme dans celles dont le niveau est invariable.

Les formations fluviales sont surtout composées de limons, de sables légers, de débris végétaux dans les meilleures conditions de mélange pour la culture. Elles sont, sur les deltas directs, distribuées dans l'intérieur des îles circonscrites par les branches extérieures du cours d'eau, aussi bien que sur les berges opposées, s'étendant jusqu'aux coteaux qui limitent l'estuaire diluvien de la vallée.

Les alluvions fluviales entraînées dans la mer, jointes aux produits de la mer elle-même, aux débris de coquillages et de végétaux qu'elle fournit sans cesse, sont soumises par le jeu des vagues à un phénomène de lévigation séparant les parties denses à formes accusées, les parcelles sablonneuses, des molécules impalpables ou limoneuses. Ces dernières, emportées vers la haute mer, entrent en partie dans les formations des nouveaux terrains sous-marins, ressource future d'un nouvel âge géologique.

Les autres, les parties sablonneuses, rejetées sur la plage[1], y produisent, suivant que l'action des vents de terre ou du large est dominante : dans le premier cas, des cordons littoraux étroits, comme sur nos côtes de Languedoc ; dans le second cas, des dunes plus ou moins envahissantes, comme sur les côtes de Gascogne.

Nous aurions donc en tout quatre catégories distinctes de formations à étudier, si nous voulions généraliser notre programme :

1° Formations fluviales ou lacustres mélangées de formations marines à leur base, près l'embouchure des fleuves débouchant dans les mers à niveau constant ;

2° Formations fluvio-marines le long des estuaires ou dans les deltas en retour, sur les fleuves aboutissant aux mers à marées ;

3° Formations marines sous forme de dunes dans les contrées où domine le vent du large ;

[1] Quant à leur composition minérale, ces sables marins se composent en général de deux éléments : les sables quartzeux, provenant du triage des alluvions fluviales, et les sables calcaires, formés des débris de coquilles qui n'ont pas encore été complètement broyées et réduites en limons par le choc des vagues.

4° Formations marines constituant les cordons littoraux sur les côtes où domine le vent de terre.

N'ayant point l'intention de présenter un cours complet de géologie agricole, il nous suffira d'avoir établi cette division générale, sans nous croire tenu à en traiter toutes les parties.

Pour ce qui concerne les rives des estuaires étrangers à la contrée que nous habitons, aussi bien que pour les dunes, qui n'y ont que peu d'importance, nous ne pourrions que reproduire ce qui a été dit ou fait ailleurs, sans ajouter aucune observation personnelle à nos citations.

Nous nous bornerons donc aux questions se rattachant plus exclusivement à nos études sur le littoral méditerranéen, où nous trouvons surtout deux sortes de formations se faisant en général suite l'une à l'autre : les dépôts lacustres ou fluviaux des deltas directs, prolongés sur les côtés par des cordons littoraux de formation marine.

Nous ne dirons même que peu de chose des cordons littoraux, qui, par leur faible étendue, la nature sablonneuse du sol et le voisinage immédiat de la mer nuisible à la végétation, ne sont susceptibles d'aucune culture réellement productive. Nous nous étendrons plus particulièrement sur tout ce qui touche aux formations lacustres dues aux dépôts limoneux des rivières qui ont comblé les lagunes littorales en arrière de ces cordons, et parfois même empiété sur le le domaine propre de la mer.

Ainsi réduites, au point de vue pratique, nos études n'en embrasseront pas moins un champ des plus vastes. A une époque où l'Administration annonce si hautement l'intention d'imprimer un nouvel essor aux grands travaux d'amélioration agricole, nulle entreprise de ce genre n'offrirait probablement plus d'intérêt que celle qui aurait pour but la mise

en valeur et en culture des étangs, marais et terrains marécageux qui, sur le littoral de la Méditerranée, des coteaux de la Provence aux premiers chaînons des Pyrénées, de l'embouchure du Rhône à celle du Tech, occupent une superficie de 227 000 hectares répartis entre les cinq départements des Bouches-du-Rhône, du Gard, de l'Hérault, de l'Aude et des Pyrénées-Orientales.

Dans cette surface[1], nous comprenons sans doute bien des terrains qui sont déjà dans un état de production assez avancé et plusieurs étangs en communication directe avec la mer, qui, comme l'étang de Thau, forment de véritables mers intérieures. On ne saurait pour le moment songer à dessécher ces nappes d'eau, qui très-probablement sont à tout jamais destinées à rester affectées à la pêche et à la navigation. On doit d'autant moins le regretter, que ces lagunes relativement profondes, qui n'ont reçu les afflux d'aucune rivière limoneuse, ont leur plafond exclusivement composé de sables de mer, calcaires ou quartzeux. Une semblable formation ne fournirait qu'un sol de médiocre valeur agricole et ne saurait être rendu productif qu'à très-grands frais.

La majeure partie des terrains dépendant de l'appareil littoral, en dehors des étangs et du cordon sablonneux, se composent de plages basses et submergées en hiver, desséchées en été, ou de marais sans profondeur qui s'assèchent d'eux-mêmes, par le fait seul de l'évaporation pendant la saison chaude de l'année. Non-seulement ces vastes territoires sont à peu près improductifs, mais ils constituent une cause incessante de maladies pernicieuses pour les populations voisines. Leur dessèchement, leur mise en valeur

[1] Voir, à la 2e partie, chap. II et III, la répartition de ces terrains.

seraient par suite une œuvre aussi désirable dans l'intérêt de la salubrité publique que dans celui de l'agriculture.

Des tentatives faites à diverses époques pour obtenir ce résultat ont complètement échoué. Si difficile et si délicate que soit l'opération, nous ne saurions admettre cependant qu'elle soit irréalisable.

En acceptant franchement les conditions naturelles du problème, en opérant sur des bases rationnelles, déduites de l'observation des faits qui se passent sous nos yeux, au lieu de vouloir appliquer des méthodes toutes faites, propres à des climats tout différents du nôtre, le succès nous paraît possible. On arrivera toujours, suivant les circonstances, soit à une amélioration progressive, soit à une transformation immédiate de ces plages, aujourd'hui stériles et pestilentielles, appelées à prendre rang parmi nos terres les plus fertiles.

La plupart des essais de dessèchement faits en Languedoc et en Provence, depuis Henri IV, ont été dirigés par des ingénieurs étrangers arrivant d'Angleterre ou de Hollande avec des projets arrêtés d'avance, qui, ne se faisant aucune idée des difficultés nouvelles qui allaient surgir, n'ont abouti, après des dépenses considérables, qu'à discréditer de la manière la plus fâcheuse des entreprises susceptibles d'un très-grand avenir. La solution du problème cependant, bien que nécessitant des moyens différents, ne serait pas moins fructueuse dans nos contrées méridionales que sur les bords de la mer du Nord.

Nous n'avons pour nous, il est vrai, ni les variations de niveau des marées facilitant l'écoulement périodique des eaux pluviales, ni la régularité du régime des pluies, ni la ressource d'un climat humide permettant la mise en culture immédiate des terrains conquis sur la mer. Nous

avons contre nous les inconvénients du débordement de nos rivières torrentielles et l'abondance des pluies d'équinoxe, qui donnent parfois plus d'eau en quelques jours qu'il n'en tombe en Angleterre pendant toute une année. Mais nous avons, en revanche, l'avantage de pouvoir opérer de prime-abord sur un sol tout formé, déjà supérieur au niveau constant d'une mer contre laquelle il n'est plus besoin de ces digues monstrueuses défendant les polders de la Hollande; nous pouvons disposer des ressources sans nombre de la science moderne, agir sur un sol éminemment fertile et sous un climat favorisé, qui se prête à des cultures exceptionnellement productives.

Il n'est effectivement pas de terrain qui renferme plus d'éléments de richesse que celui de la plupart de nos marais; et lorsqu'on voit les terres attenantes, de même nature et de même origine, valoir ordinairement de 8 à 12 000 l'hectare, bien que partiellement épuisées par une longue culture, il ne sera douteux pour personne qu'on ne soit en droit d'espérer une valeur au moins égale de ces marais, si jamais on parvient à les mettre dans des conditions normales de végétation.

LXVI.

Le principal obstacle qui s'oppose à ce résultat ne provient pas seulement de l'excédant d'eau qui submerge ou imbibe ces terrains, mais du sel marin dont ils sont imprégnés.

Dans toutes les opérations de mise en valeur des plages ou marais du littoral de la Méditerranée, cette question du sel, spéciale à nos climats méridionaux, doit primer toutes les autres. Avant d'aller plus loin, nous croyons donc devoir

la traiter avec quelques détails. Il serait en effet fort inutile de songer à dessécher de nouvelles surfaces, si les terrains ainsi obtenus devaient rester improductifs, comme ceux que nous possédons déjà à l'état de plages arides, si nous ne nous étions assuré d'avance des moyens de remédier à cette cause permanente de stérilité.

Tous les terrains qui se sont trouvés en contact avec la mer ou qui, à diverses époques, ont été submergés périodiquement ou accidentellement par des eaux plus ou moins saumâtres, restent imprégnés de sel marin, produisant, suivant les conditions atmosphériques, des effets bien différents.

Sous le climat toujours humide ou brumeux du nord, le sel, constamment dissous par un excès d'eau pluviale, s'écoule et s'infiltre avec elle dans le sol, et ne produit aucun effet fâcheux sur la végétation, qu'il active même quelquefois. Il en est tout autrement sous le climat plus sec des départements bordant la Méditerranée, et en général de toutes les contrées où l'évaporation naturelle est supérieure à la quantité d'eau pluviale.

Les terrains meubles de ces régions, une fois imprégnés de sel, le retiennent avec une très-grande énergie, et c'est avec beaucoup de peine qu'on parvient à les en débarrasser.

Les lavages superficiels à l'eau douce, qui paraissent le moyen le plus naturel à employer pour obtenir le dessalement, sont complètement inefficaces.

Les eaux de submersion de la plupart de nos marais sont à peine saumâtres en hiver, bien que le sol soit très-chargé de sel. Nous avons fait à cet égard de nombreuses expériences sur le marais de Vic, dont le sol marneux contient parfois jusqu'à 4 et 5 p. °/₀ de sel, et dont les eaux de drainage, prises à de petites profondeurs, deux fois plus char-

gées que l'eau de mer, donnent jusqu'à 6 et 7 p. °/₀ de résidu salin par l'évaporation. Ces terrains sont naturellement submergés par des eaux de source très-faiblement saumâtres, contenant de 0,001 à 0,002 de sel, dont on peut assurer le renouvellement pendant toute la saison d'hiver. L'écoulement graduel, après une stagnation à la surface de plusieurs mois, n'accuse pas de différence notable entre les eaux d'entrée et celles de sortie. L'excès de salure de ces dernières correspond à peine à la concentration résultant de l'évaporation.

Sur les bords de l'Aude, sur ceux du Rhône, de vastes plaines qui depuis les temps historiques sont à l'abri de l'irruption des eaux de la mer ou des étang salés, et périodiquement couvertes par des torrents d'eau douce, ne paraissent avoir rien perdu de leur salure originelle. Le sel dont ces terrains sont chargés ne tarde pas à traverser les nouvelles couches d'alluvion, dont ils sont parfois recouverts sur des épaisseurs de $0^m,80$ à $1^m,00$ à la suite des grandes inondations, et à reparaître à la surface.

Cette persistance du sel à se maintenir dans les terrains meubles qui en ont été une fois imprégnés, est telle qu'on doit naturellement s'étonner de ne pas le retrouver en plus grande abondance dans les formations géologiques qui ont été en contact avec les eaux de la mer. L'absence à peu près complète de sel, dans ces terrains, nous a paru un moment être une grave objection contre la théorie des courants diluviens produits par le déplacement accidentel de grandes masses d'eau qui ne peuvent avoir été que celles de la mer. Nous avons été conduit à nous demander s'il ne faudrait pas abandonner cette théorie des courants diluviens; en revenir, par exemple, à l'hypothèse par laquelle, dans son ouvrage *sur les torrents des Hautes-Alpes*, M. Surell

explique les formations diluviennes. Elles résulteraient, suivant lui, de l'action de simples torrents d'un débit analogue à celui de nos cours d'eau naturels, qui auraient agi à l'origine d'une période géologique sur des terrains meubles, rendus affouillables par une dislocation générale et récente de la surface du globe. Cette explication nouvelle, en l'envisageant de plus près, ne serait cependant qu'une pétition de principes. La dislocation de la couche terrestre résultant du soulèvement brusque d'une partie de sa surface, implique nécessairement un déplacement des eaux de la mer qui n'a pu se produire sans occasionner des courants énormes, dont l'action aurait toujours été infiniment supérieure à celle des torrents normaux et permanents qui ont pu leur succéder.

La difficulté serait-elle d'ailleurs écartée en substituant, de manière ou d'autre, des courants d'eaux douces aux courants d'eaux salées, pour la formation des terrains diluviens continentaux, qu'elle subsisterait encore pour les terrains de sédiment d'origine marine. La provenance de ces derniers est nettement accusée par les coquilles en place qu'ils contiennent ; et cependant ils sont exempts de sel ou n'en contiennent que des quantités insignifiantes, inférieures le plus souvent à celles qu'on retrouve dans les terrains de transport.

Il ne suffirait donc pas de renoncer à la théorie des courants diluviens, d'ailleurs démontrée par un si grand nombre de faits, pour expliquer le défaut de salure de la plupart des terrains du globe. Il faut nécessairement admettre d'autres causes qui ne peuvent être que l'action du temps, de la pression, et par-dessus tout celle d'un drainage lent et continu qui a dû se poursuivre jusque dans les couches les plus profondes des terrains géologiques.

Si compactes, si imperméables que soient ces terrains, ils n'en sont pas moins soumis, par l'effet de pression de l'eau pluviale arrivant dans les couches supérieures, à un déplacement continu de l'eau qu'ils contiennent, s'opérant de molécule à molécule dans un sens déterminé. Il doit en résulter comme un courant invisible, qui à la longue a fini par entraîner le sel primitivement absorbé.

Rien ne prouve d'ailleurs que ce dessalement soit partout entièrement achevé. Dans les nombreuses analyses que nous avons eu occasion de faire de terrains de transport ou de sédiment, nous n'avons, il est vrai, trouvé le plus souvent que de très-faibles traces de sel marin ; nos eaux de source toutefois en contiennent encore des quantités appréciables, habituellement plusieurs 100 millièmes.

Cette proportion de sels de soude, si minime qu'elle soit, n'en est pas moins très-supérieure à celle des sels de potasse entraînés par les mêmes eaux ; et cependant la potasse est en moyenne beaucoup plus abondante que la soude, dans les éléments constitutifs du sol, à l'état de combinaison chimique insoluble. La proportion relativement considérable de chlorure de sodium contenu dans les eaux de la plupart des sources, ne peut donc provenir de la seule désagrégation des silicates alcalins, mais bien plutôt du dessalement incessant des couches diluviennes ou sédimentaires qu'elles traversent.

Le dessalement naturel de la plupart des formations géologiques admis comme un fait général, il reste à expliquer les causes réelles de la présence et de l'accumulation du sel dans certains terrains de nos régions méridionales. Ce n'est qu'après avoir analysé complètement le phénomène, qu'il nous sera possible de trouver les moyens d'en combattre sûrement les effets.

LXVII.

Nous avons signalé dans l'exposé de la théorie du sol végétal, qui sert d'introduction à cet ouvrage (v), la faculté qu'ont les terrains meubles de s'incorporer, à l'état d'affinité physique, une certaine quantité d'eau, indépendamment de celle qui, s'écoulant librement à travers les pores, constitue l'*eau de drainage*. On donne habituellement le nom d'*hygroscopicité* à cette propriété des terres végétales, et nous appellerons *coefficient hygroscopique* ou *d'absorption* la proportion d'eau que l'unité de poids du terrain desséché à l'étuve peut ainsi retenir à l'état de saturation complète.

Un kilogramme de terrain desséché, pouvant absorber par exemple 250 grammes d'eau au point de saturation, aura un coefficient de 0,25.

Le phénomène de la salure d'un terrain, la quantité de sel qu'il peut retenir et fixer, sont intimement liés avec l'intensité de l'évaporation locale et l'hygroscopicité du sol.

Théoriquement, il semble assez naturel d'admettre que le sel contenu dans un terrain s'y trouve en entier à l'état de dissolution dans l'eau absorbée physiquement. Si l'on prend un poids déterminé de ce terrain imbibé d'eau, un peu au-delà du point de saturation, de manière à déterminer l'écoulement naturel d'un petit excédant d'eau de drainage, la salure en poids du terrain paraîtrait devoir être égale à la salure de l'eau de drainage multipliée par le coefficient d'absorption.

Cette hypothèse ne s'est pas complètement confirmée. De nombreuses expériences ont en général accusé, pour le rapport entre la salure d'un terrain et celle des premières

eaux de drainage, un chiffre supérieur à celui qu'indiquait la théorie. On doit en conclure que le sel n'est pas en entier contenu dans les eaux absorbées à l'état de dissolution uniforme, il est en partie retenu par les molécules dans un état de concentration supérieure à celle des eaux de drainage, résultat d'ailleurs conforme aux principes de l'affinité physique qui ont été énoncés par M. de Liebig, et que nous avons rappelés dans le premier chapitre de cet ouvrage.

De la considération des terrains simplement saturés d'eau, en vertu de leur absorption hygroscopique, passons à celle des terrains complètement noyés, aux sols meubles qui constituent la cuvette d'une nappe d'eaux permanentes, le fond de la mer ou d'une lagune littorale, par exemple. Ces terrains sont saturés d'eau dont la salure est la même que celle de l'eau superficielle. En les ramenant à l'état de siccité et déterminant directement leur salure, elle devrait être théoriquement égale au produit de la salure de cette eau superficielle par le coefficient d'absorption. En réalité, par les motifs qui précèdent, elle est un peu supérieure.

Une série de huit échantillons de vases prises dans le marais de Mauguio, nous a donné une salure moyenne de 0,0046. Le coefficient d'absorption de ces vases est en moyenne de 0,25, ce qui correspondrait théoriquement, pour les eaux superficielles, à une salure de 0,018, supérieure en fait à celle des eaux de l'étang, qui dépasse rarement 0,012 à 0,015.

Lorsqu'un terrain dans un certain état de salure vient à être recouvert d'une manière permanente par des eaux de salure constante convenablement renouvelées, il se produit nécessairement un phénomène d'endosmose qui doit tendre à équilibrer à la longue les deux salures. Si

l'eau supérieure est complètement douce, le terrain doit se dessaler peu à peu. Mais cette action de surface est excessivement lente, ainsi que nous l'avons dit, et pratiquement le dessalement par ce lavage superficiel doit être considéré comme irréalisable.

Si le même terrain, au lieu d'être constamment recouvert d'une couche d'eau de salure constante, est périodiquement soumis à l'effet d'une dessiccation prolongée, il perd, par le fait de l'évaporation, une partie notable de son eau d'absorption. Pareil à une éponge en partie vidée, il se trouve en état d'absorber la première eau qui vient à le recouvrir, et, si cette eau est saumâtre, il reçoit avec elle une quantité de sel qu'il s'incorpore définitivement. Pendant l'évaporation suivante, l'eau disparait en effet, mais le sel reste dans le terrain, qui acquiert la propriété d'en absorber une quantité nouvelle, lorsque revient le moment de la submersion.

Abstraction faite de cette accumulation successive, le sel incorporé dans le sol subit des déplacements, par l'effet de la capillarité. Tous les terrains meubles, étant plus ou moins poreux, se trouvent dans des conditions propres à produire ce phénomène. Lorsque, par le fait de l'évaporation, l'eau qui remplissait une partie des pores supérieurs vient à disparaître, l'eau des couches inférieures, remontant par les interstices capillaires qui séparent les molécules, arrive à la surface, où elle s'évapore à son tour et est nécessairement remplacée par le liquide des couches plus basses. Le sel, dans ces conditions, se concentre à la surface, et se manifeste même au dehors par des efflorescences cristallines qui caractérisent les terrains salés pendant les temps secs.

Lorsque survient la période d'humidité, un fait inverse

se produit : la première eau qui tombe à la surface du sol dissout le sel et pénètre avec lui dans les conduits capillaires des couches inférieures, où, par l'effet de sa plus grande pesanteur, elle est retenue jusqu'à ce qu'une nouvelle évaporation superficielle la ramène au dehors.

C'est donc toujours la même quantité de sel qui reparait au jour pendant les grandes chaleurs de l'été, parfois même par les froids secs de l'hiver; qui redescend dans les profondeurs du sol aux premières pluies, sans que les grandes submersions qui suivent puissent en entraîner une partie notable. La descente du sel succédant à sa montée est d'autant plus rapide qu'à l'action de la pesanteur se joint celle de la capillarité, qui, dès que cesse l'évaporation superficielle, agit aussi bien pour remplir les tubes capillaires que pour les vider, aussi bien de haut en bas que de bas en haut. Cette absorption de l'efflorescence saline par les couches inférieures est instantanée; elle se produit non-seulement par l'effet de la pluie, mais par suite d'un simple changement hydrométrique de l'atmosphère. Il suffit d'un vent de mer humide pour faire disparaître la couche cristalline formée par une série de vents de terre[1] à la surface d'un sol salé.

Les efflorescences cristallines, qui distinguent les terrains salés, sont le fait le plus apparent; mais cette concentration

[1] On peut même, dans ces circonstances, observer un phénomène que nous avons remarqué très-souvent. L'action capillaire ne se fait pas sentir seulement dans les pores du sol, mais sur les tiges et les feuilles des végétaux spéciaux à de semblables terrains. Leurs parties les plus basses se tapissent parfois d'arborescences cristallines qui tiennent au sol, tant que souffle le vent sec; qui s'en détachent et restent suspendues aux dernières branches comme des flocons de givre, lorsque survient un temps humide.

du sel n'est qu'accidentelle à la surface, tandis qu'elle est permanente dans les couches inférieures. Une portion de l'eau salée que contiennent ces dernières remonte bien à la superficie; mais la majeure partie s'évapore sur place, et le sel s'incorpore de plus en plus dans les couches profondes.

L'accumulation du sel dans un terrain meuble est d'autant plus forte que ce terrain a un plus grand pouvoir absorbant, que l'éponge vidée par l'évaporation est capable de retenir une plus grande quantité d'eaux saumâtres pendant les submersions. L'observation confirme cette déduction logique de la théorie; mais il est un autre fait d'observation qui, *à priori*, nous avait paru anormal, faute de bien comprendre encore le mécanisme de la concentration du sel dans les terrains salés: la quantité de sel que contiennent ces terrains, toutes choses égales d'ailleurs dans une même localité, est d'autant plus grande qu'ils sont plus élevés, plus rarement atteints, ou plutôt moins longtemps submergés par les eaux saumâtres auxquelles ils doivent leur salure.

Nous avons pour la première fois constaté ce fait aux marais de Vic, sur lesquels ont principalement porté nos études. Ces marais forment une cuvette dont l'altitude varie de + 0,50 à — 0,25 par rapport au niveau moyen de la mer. Le sol est une marne calcaire très-spongieuse, dont le coefficient d'absorption atteint 0,60. La submersion avant les derniers travaux était habituellement produite par des eaux de source faiblement saumâtres, dont la salure varie de 0,001 à 0,002. Accidentellement, dans le temps des très-grandes crues, les eaux des étangs pouvaient en partie se joindre avec celles des sources; mais, mélangées elles-mêmes à une forte proportion d'eaux douces, elles ne portaient

jamais la salure totale des eaux d'inondation à plus de 0,004 à 0,005.

Au point de vue de la durée des submersions, les terrains du marais de Vic pouvaient être divisés en trois zones : 1° les terrains supérieurs compris entre +0,50 et +0,25, qui n'étaient recouverts que très-accidentellement, lors des grandes crues et pendant quelques jours seulement; 2° les terrains entre + 0,25 et 0,00 qui, chaque année, restaient inondés pendant plusieurs mois d'hiver; 3° enfin la cuvette inférieure au zéro, qui était submergée pendant neuf ou dix mois de l'année et ne s'asséchait à la fin de l'été que par le fait de l'évaporation.

Avant toute vérification, nous avions un moment cru pouvoir supposer que cette zone centrale, sur laquelle venaient annuellement se concentrer les eaux chargées de sel par leur passage sur les terrains supérieurs, devait être relativement beaucoup plus salée que les zones extérieures.

Les analyses nous ont donné des résultats tout contraires à ces prévisions. La salure croissait rapidement avec la hauteur ; elle ne dépassait pas 0,006 à 0,008 dans les terrains de la zone inférieure ; elle variait de 0,010 à 0,020 dans la zone intermédiaire, elle atteignait 0,030 et parfois même 0,040 et 0,045 dans la zone la plus élevée.

Ce phénomène n'est point particulier aux marais de Vic[1] ;

[1] Une hypothèse fort simple nous rendra compte de ce phénomène, et plus généralement des actions du salement et du dessalement résultant de l'influence du climat.

Admettons un îlot de terrains perméables et spongieux au centre d'un bassin d'eaux saumâtres, que nous supposerons maintenu à un niveau constant par introduction ou enlèvement d'eaux douces, au besoin, la quantité du sel restant la même.

Plaçons-nous en premier lieu sous un climat très-sec, exempt de pluie, comme celui de l'Égypte. La capillarité amenant incessamment

nous le trouvons tout aussi marqué pour les terrains de la Camargue, dans les résultats des analyses faites au laboratoire de l'École des ponts-et-chaussées, sur une assez nombreuse série d'échantillons pris en divers points de l'île. La salure des terrains indiqués comme marais permanents, habituellement recouverts d'eau, ne dépasse pas 0,002 à 0,005 ; elle est sept fois plus forte, s'élève à 0,022 pour les terrains supérieurs[1], ordinairement découverts et secs, connus dans le pays sous le nom de *sousouïres*.

de nouvelles eaux à la surface centrale émergée, déterminera une évaporation continue, qui peu à peu fixera tout le sel dans le sol de l'îlot. Les eaux du bassin de ceinture finiront par devenir entièrement douces.

Transportons, au contraire, l'expérience sous un climat très-humide, où l'évaporation annuelle soit inférieure à la tranche d'eau pluviale : les couches successives du sol de l'îlot se dessaleront par un lessivage continu, et le sel se retrouvera en entier dans les eaux extérieures.

Le climat du marais de Vic n'est pas celui de l'Égypte, mais il s'en rapproche. L'eau pluviale n'y dépasse pas annuellement $0^{m},60$; l'évaporation y atteint $2^{m},00$. Les terres habituellement émergées dans ces conditions sont le siége d'une évaporation puissante, qui attire à elle et incorpore dans le sol le sel contenu dans les eaux des fossés voisins. Les mares dans lesquelles se réunissent les eaux de submersion au commencement de l'été, se dessèchent par l'effet d'une absorption latérale, sans que la salure de leurs eaux s'accroisse notablement, comme on pourrait l'attendre de la réduction de leur volume apparent.

[1] Toutes proportions gardées, la salure paraît être beaucoup moindre dans les terrains de la Camargue que dans ceux du marais de Vic. La différence tient à la faculté d'absorption spongieuse, deux ou trois fois plus faible dans les premiers que dans les derniers. A salure égale du sol, la salure des eaux de drainage est en raison inverse du coefficient d'absorption. Ainsi s'explique que, sur les terrains argilo-marneux de la Camargue, contenant 2 p. % de leur poids en sel, certaines personnes aient constaté jusqu'à 8 et 10 p. % de sel dans les eaux de sondage, tandis que nous-même n'avons jamais trouvé plus de 5 à 6 p. % dans les eaux des tranchées du marais de Vic.

LXVIII.

Dans les deux localités que nous venons de citer, en Camargue comme au marais de Vic, la grande salure du terrain ne provient pas d'une cause originelle, d'une première évaporation sur place d'eaux très-chargées de sels, mais des évaporations successives d'eaux très-faiblement saumâtres.

Ce principe général sur l'accumulation du sel dans les terrains meubles, a été corroboré pour nous par la lecture d'une très-intéressante étude sur le bassin de la mer Caspienne, due à la plume de M. Élisée Reclus, et publiée dans la *Revue des Deux-Mondes* (1er août 1861).

La mer Caspienne, l'une des plus vastes nappes d'eau intérieures du globe, parait n'être que la dernière cuvette d'évaporation dans laquelle se sont concentrées les eaux d'une mer beaucoup plus étendue qui, se reliant d'une part à la mer Noire, s'étendait profondément dans le continent asiatique, et se prolongeait peut être jusqu'à l'océan Glacial.

Dans l'état actuel, le niveau de la Caspienne est à 25m au-dessous du niveau de la mer Noire. Les terrains qui bordent sa cuvette sur une partie de son pourtour, au nord-ouest et au sud-est, sont si bas, si déprimés, qu'il suffirait que les eaux reprissent le niveau de la mer Noire pour recouvrir une surface double de celle qu'elles occupent aujourd'hui. Ces terrains bas, qui prolongent les plages de la Caspienne vers la Russie d'un côté, vers la Tartarie de l'autre, présentent de vastes surfaces sablonneuses, sans végétation, entrecoupées de lacs et de marais, couvertes d'efflorescences salines. Ils constituent des steppes

qui au point de vue de leur formation géologique, toutes proportions gardées quant à leur plus grande étendue, présentent beaucoup d'analogie avec les terrains salés de notre littoral.

La salure de la mer Caspienne est très-variable d'un point à un autre. Moyennement elle ne paraît pas dépasser 0,009, et est par suite inférieure des deux tiers à la salure de la Méditerranée. On a pendant longtemps admis comme une chose évidente que, par le fait de la concentration des eaux affluentes, amenant constamment de nouvelles quantités de sels dissoutes dans la traversée des steppes, la salure de la Caspienne devait aller en augmentant. D'où, remontant à l'origine, il était naturel de conclure que la cuvette avait été originellement remplie par des eaux à peu près douces, ce qui rendait difficile d'admettre qu'elles eussent été accidentellement séparées du bassin général des mers du globe.

Cette déduction, logique en apparence, a été vivement combattue par un des savants voyageurs qui ont récemment visité et décrit le bassin de la mer Caspienne. M. de Baër, dans les remarquables études qu'il a publiées sur cette région, cherche à démontrer que, loin d'augmenter, la salure de la Caspienne doit diminuer.

Les faits d'observation qu'il cite à l'appui de cette opinion confirment de tout point ceux que nous-même avons eu occasion de constater sur le littoral de la Méditerranée. La cause agissante est l'évaporation solaire, qui sur la Caspienne suffit à absorber les eaux pluviales d'un bassin sept fois plus grand que sa cuvette.

Sur tout le pourtour de cette mer, et principalement dans la région des steppes, existent des lagunes, les unes longitudinales, comme celles de la Méditerranée; d'autres,

en plus grand nombre, s'étendant au loin, dans les terres, en baies étroites qui par leur forme rappellent les estuaires des côtes de l'Océan.

Habituellement séparées de la mer par des bancs de sable que les flots ne surmontent que pendant les tempêtes, ces lagunes constituent autant de réservoirs fermés, à la surface desquels l'évaporation agit pendant tout l'été, amenant une concentration des eaux qui parfois va jusqu'à déterminer la précipitation du sel en couches cristallines. Ces dépôts sont le plus souvent éphémères; mais, lorsqu'ils se produisent dans les criques les plus éloignées, que l'inondation envahit rarement, ils forment des couches puissantes dont l'épaisseur va sans cesse en augmentant, jusqu'au moment où elles sont recouvertes par les sables et définitivement mises à l'abri de toute dissolution nouvelle.

M. de Baër, qui a longuement étudié ces formations, ne met pas en doute que la déperdition de sel qu'elles occasionnent ne soit supérieure au gain résultant de l'apport des affluents.

A part cette action qui tend à dessaler ses eaux, la mer Caspienne a dû, dans les temps reculés, être exposée à une autre cause de perte. En fait, on doit considérer sa cuvette actuelle comme définitivement fixée, de telle sorte que l'évaporation qui se produit à sa superficie fasse équilibre au débit de tous ses affluents; mais il n'en a pas été toujours ainsi.

Si l'on considère la Caspienne comme le dernier vestige d'une grande mer intérieure accidentellement séparée de l'Océan, il est naturel d'admettre que sa surface a diminué progressivement, qu'elle n'a délaissé que très-lentement ses anciens rivages, abandonnant peu à peu une série de plages successives tour à tour recouvertes et quittées par les eaux.

Un double phénomène a donc pu contribuer à amener le dessalement partiel des eaux de la Caspienne : une précipitation directe par évaporation complète dans une partie des lagunes, observée surtout par M. de Baër ; une précipitation indirecte par le fait de l'absorption spongieuse des terres riveraines que la mer Caspienne a successivement délaissées.

Nous n'avons aucune donnée positive sur la salure moyenne des steppes de Russie et de Tartarie[1]. Rien ne nous prouve qu'elle soit suffisante pour représenter tout le sel perdu, dans la double hypothèse de la diminution de volume et de la réduction de salure des eaux de la mer. Il

[1] Il est possible d'évaluer la quantité de sel qui aurait dû être incorporé à l'état de couches compactes ou d'absorption spongieuse, par le sol des steppes, pour amener une réduction dans la salure de la Caspienne. Nous avons vu que la surface actuelle avait été diminuée de moitié pour un abaissement de 25 mètres dans la hauteur du plan d'eau. Si nous appelons α la salure primitive de cette mer, $\frac{3}{2} \times 25\,\alpha$ représentera la quantité de sel qui aurait dû être moyennement fixée par mètre carré de steppe, pour que la salure primitive se fût rigoureusement maintenue. Suivant que la salure réelle des steppes serait plus grande ou plus petite que le chiffre obtenu en donnant à α la valeur correspondant à la salure actuelle de la mer, on devrait en conclure que la salure primitive a diminué ou augmenté.

Cette limite est égale à 338 kilogrammes de sel par mètre carré. Ce chiffre paraîtrait considérable, s'il s'agissait d'une simple incorporation du sel dans le sol meuble ; car les terrains les plus salés du marais de Vic (dont la profondeur, il est vrai, ne dépasse pas 2 mètres) ne contiennent pas plus de 90 kilogrammes de sel par mètre superficiel. Mais si l'on admet qu'il se soit formé sur divers points d'épaisses couches de sel gemme analogues à celles dont M. de Baër signale la production journalière, il n'y a nulle impossibilité à supposer que cette limite ait été dépassée, auquel cas la salure de la Caspienne aurait pu aller en diminuant jusqu'à l'époque actuelle, et pourrait même encore se réduire davantage de jour en jour.

se peut cependant que le fait ait eu lieu ; et dans tous les cas les observations faites par M. de Baër nous paraissent de nature à faire comprendre comment, dans une période géologique antérieure à la nôtre, ont pu se produire ces amas de sel gemme qui constituent de si puissantes formations à la surface du globe.

Le phénomène de la précipitation du sel par une évaporation directe, ne se produit pas en général dans nos lagunes du littoral de la Méditerranée. Alimentées par de nombreux affluents, elles reçoivent une quantité d'eaux pluviales supérieure à celle qu'enlève l'évaporation.

Leur salure est presque toujours inférieure à celle de la mer, avec laquelle elles sont en libre communication de niveau. Ces lagunes n'ont produit d'autre déperdition de sel que celle qui résulte du fait de l'absorption spongieuse de leurs rives. Il est cependant à cet égard quelques exceptions sur l'aile droite du delta du Rhône. Au voisinage des salines de Peccais, près d'Aigues-Mortes, il existe un ancien bras du fleuve formant une crique isolée analogue à celles qui bordent la Caspienne, dans laquelle la concentration du sel, par le fait de l'évaporation, détermine une salure deux fois plus forte que celle de la mer.

LXIX.

Nous venons de voir comment, par le fait de leur absorption spongieuse, les terrains meubles peuvent, sous un climat sec, se charger d'une quantité de sel incomparablement supérieure à celle qui est contenue dans les eaux saumâtres qui les recouvrent accidentellement.

Le sel ainsi incorporé dans le sol est soumis à des déplacements : tour à tour appelé à la surface par l'évaporation,

refoulé dans les couches inférieures par la pression des eaux extérieures.

Ces écarts sont toutefois assez faibles, tant que le terrain reste à l'état de nature. La durée des submersions, l'influence préservatrice de la végétation spéciale qui recouvre toujours plus ou moins ces terrains, atténuent les effets de l'évaporation. De nombreuses analyses faites en diverses saisons de l'année, ne nous ont jamais donné que des différences assez faibles dans l'état de salure relatif des diverses couches du sol. Il en est tout autrement quand des circonstances nouvelles viennent détruire l'équilibre naturel, accélérer ou ralentir le mouvement ascensionnel déterminé par l'évaporation.

La mise en culture, en réduisant la durée des submersions, en faisant disparaître la végétation propre au marais, produit une plus grande concentration du sel à la surface. C'est surtout à cette accumulation dans les couches supérieures que l'on doit attribuer l'influence nuisible du sel sur la végétation des plantes utiles ou alimentaires. Il agit comme un poison sur les racines, qui l'absorbent à l'état de dissolution trop concentrée. Les végétaux, sans se développer toutefois, persistent longtemps dans un sol imprégné de sel, tant que l'atmosphère reste sèche. Les petites pluies amènent leur dépérissement immédiat. Les grandes averses, en refoulant momentanément le sel à un niveau inférieur, déterminent au contraire une reprise momentanée; mais la grande évaporation qui leur succède d'ordinaire détruit rapidement cette amélioration éphémère. La végétation disparaît peu à peu ou ne persiste que par touffes éparses, dont le rendement est en général insuffisant pour compenser les frais de culture.

La proportion de sel qui rend un terrain improductif est

très-variable, non-seulement avec la nature du sol et celle des espèces végétales, mais avec l'état de développement de ces dernières; ainsi qu'on doit naturellement le prévoir, les jeunes plantes sont relativement beaucoup plus sensibles à l'action destructive du sel que celles qui se sont déjà fortement implantées dans le sol.

Nous avons vu des vignes et des garances en plein rapport, prospérer dans certaines terres riveraines du marais de Vic, contenant, le jour où nous en avons fait l'analyse, 0,006 et 0,007 de sel ; tandis que les mêmes végétaux, plantés ou semés dans des terrains deux et trois fois moins salés, ne pouvaient prendre racine ni germer.

Les terrains salés occupent, sur le littoral de la Méditerranée, de vastes surfaces improductives et insalubres qu'on s'est bien des fois efforcé de mettre en valeur. On a tour à tour essayé, dans cette intention, les irrigations superficielles qui, sans dessaler notablement le sol, refoulent le sel dans les couches inférieures, et les couvertures de roseaux, les binages du sol, qui, en maintenant une certaine fraîcheur superficielle, ralentissent l'évaporation et s'opposent à la concentration du sel dans les couches supérieures, concentration qui est le principal obstacle au développement de la végétation.

Tous ces procédés sont restés inefficaces, et il ne pouvait en être autrement. Ils ont en effet pour but de masquer la cause du mal plutôt que de la supprimer, de pallier momentanément les inconvénients du sel plutôt que d'en purger réellement le sol.

Toute tentative d'amélioration des terrains salés restera infructueuse, si l'on ne combine le desséchement avec un dessalement rationnel et complet, si l'on ne prend des mesures pour se débarrasser entièrement du sel déjà incorporé

dans le sol, en même temps que pour empêcher l'introduction des eaux saumâtres qui viendraient en renouveler la salure.

Cette dernière partie du programme sera généralement assez facile à suivre, toutes les fois que l'irruption des eaux saumâtres aura lieu par la surface. On pourra toujours en effet écarter ces eaux par un endiguement convenable. C'est le cas habituel de tous les terrains à sous-sol meuble et imperméable, de profondeur illimitée, qui recouvrent la majeure partie des deltas du Rhône, de l'Aude et du littoral de l'étang de Mauguio. L'exclusion des eaux saumâtres ne présentera de difficultés réelles que dans les terrains peu profonds, à sous-sol perméable, donnant issue à des filtrations et à des sources plus ou moins chargées de sel, analogues à celles qui sortent de certains massifs calcaires sur une partie du littoral des départements de l'Hérault et de l'Aude. Ces derniers terrains toutefois, comme valeur agronomique et comme étendue, ont une importance relativement minime, et l'on peut considérer comme possible, dans la plupart des cas, de se mettre à l'abri de nouveaux apports de sel par les eaux extérieures.

Reste la première question, la plus importante, celle de l'élimination du sel déjà incorporé dans le sol, qui n'avait jamais été sérieusement attaquée, avant que nous ayons proposé de la résoudre par le lessivage régulier des terrains préalablement drainés à une profondeur suffisante.

On conçoit *à priori* l'efficacité d'un tel procédé ; les détails d'application en sont des plus simples. Les terrains à dessaler, convenablement drainés, seront disposés en tables horizontales entourées de bourrelets, sans écoulement de surface possible, mais avec un écoulement de fond parfaitement assuré, au moyen de machines d'épuisement, à défaut de pente naturelle suffisante.

L'excédant des eaux de pluie ou d'arrosage reçues à la surface des tables ainsi préparées, ne pourra s'écouler dans les collecteurs sans entraîner le sel que ces eaux auront dissous par leur filtration à travers les couches successives du sol.

L'eau du ciel, à la rigueur, suffirait, pendant une saison pluvieuse, pour produire un premier lessivage dont le renouvellement finirait à la longue par dessaler le terrain. Réduite à ce procédé, l'opération serait cependant des plus lentes; mais on pourra l'activer par des submersions artificielles. L'eau d'arrosage manque sans doute sur un grand nombre de nos marais, pendant la saison sèche; mais il en est peu sur lesquels on ne puisse, pendant la saison des pluies, amener une quantité d'eaux douces considérable, empruntée aux affluents voisins. En utilisant ces eaux, il sera donc toujours facile de faire pendant l'année un certain nombre de lessivages qui, convenablement exécutés, arriveront plus ou moins vite à débarrasser le sol du sel contenu dans toute l'étendue de la zone d'action des drains.

Toute la difficulté dès-lors consistera à assurer l'écoulement des eaux de drainage, et il est incontestable qu'en employant les agents mécaniques à l'épuisement des eaux, ce ne sera plus qu'une question d'argent.

LXX.

Nos idées théoriques, sur cette question du dessalement, ont été admises par l'Administration supérieure. Il nous a été donné d'en faire l'application sur une assez grande échelle, à l'entreprise de mise en valeur d'une partie des marais de Vic.

Il nous est cependant arrivé en cette circonstance ce qui

se produit assez souvent, lorsqu'il est question d'une idée nouvelle : le principe en est contesté au début, l'originalité plus tard.

On nous a déjà dit que notre procédé n'avait rien de nouveau ; qu'il avait été proposé, appliqué même dans la Camargue, où nous en aurions puisé l'idée. S'il ne s'agissait que d'une question de priorité d'invention, nous n'insisterions pas ; car en cherchant à propager l'emploi d'une méthode que nous croyons appelée à produire une transformation complète de notre littoral, nous ferions bon marché de toute considération d'amour-propre.

Mais il importe qu'on ne rende pas notre procédé responsable des échecs qu'une fausse application pourrait amener. C'est à ce point de vue surtout que nous ne saurions admettre une assimilation complète entre ce que nous proposons et ce que d'autres ont proposé avant nous ; nous disons *proposé* et non exécuté, car, en fait, à notre connaissance, il n'a pas encore été posé un tuyau de drainage en Camargue.

Le drainage a sans doute été plusieurs fois recommandé comme un moyen d'accélérer le dessalement ; mais il n'a jamais, que nous sachions, été appliqué spécialement dans ce but. Il nous sera même aisé de faire voir qu'à ce point de vue il a toujours été conseillé dans des conditions où il devait forcément rester inefficace ou nuisible. Il peut en effet, suivant les circonstances, augmenter parfois plutôt que réduire la concentration du sel dans les couches supérieures du sol. Dans les conditions mêmes où nous nous sommes placé, sur un sol divisé en tables horizontales de submersion, le drainage peut agir de deux manières : par lessivage, en écoulant des eaux superficielles à travers le terrain salé ; par irrigation souterraine, en répartissant dans la masse du sol

les eaux du canal de desséchement, si ces dernières restent habituellement à un niveau supérieur à celui des bouches de collecteurs. Dans le premier cas, le drainage amène un prompt dessalement; dans le second cas, au contraire, il produit une salure énergique de la surface, soit en y faisant simplement affluer tout le sel contenu dans le sol, si les eaux inférieures sont douces; soit en ajoutant de nouvelles quantités de sel, pour peu que ces eaux soient saumâtres.

Nous avons eu un exemple très-remarquable de cette action du drainage au marais de Vic. La répartition sur divers exercices des fonds alloués à l'entreprise ne nous ayant pas permis de drainer en une seule campagne toute l'étendue du périmètre qui devait être desservi par les canaux de desséchement, nous dûmes commencer l'opération sur une surface réduite de 25 hectares. Ce terrain, incomplètement dessalé dans le courant de 1864, fut soumis, au commencement de 1865, à de premiers essais de culture qui nous donnèrent des résultats à demi satisfaisants. Il fut ensuite abandonné à lui-même, laissé à sec pendant tout l'été; mais en même temps le canal de desséchement recevait les eaux de lavage superficiel et de filtration des terrains non encore drainés, contenant de 0,005 à 0,006 de sel. Une évaporation active se produisit à la surface du sol primitivement dessalé, dans lequel s'incorpora une nouvelle quantité de sel égale et parfois supérieure à celle que nous avions au début. Sur certains points où antérieurement aux travaux le sol ne contenait pas plus de 0,007 de sel, nous en avons trouvé jusqu'à 0,033 à la surface, au commencement de 1866.

Les semailles du printemps de 1865 avaient partiellement réussi; celles de l'automne n'arrivèrent pas à maturité; celles du printemps de 1866 ne germèrent même pas.

Dans une opération de dessèchement par voie de drainage, on ne saurait trop se mettre en garde contre cet effet de retour des eaux dans les drains. L'irrigation souterraine, ainsi que nous croyons l'avoir établi dans une autre publication[1], est en elle-même une excellente méthode qui, dans les conditions normales, a les meilleurs effets sur le développement de la végétation ; mais dans un dessalement on ne devra l'employer que lorsque tout le sel aura été éliminé et lorsqu'on pourra disposer d'eaux parfaitement douces pour les arrosages. Il faudra toujours s'en abstenir lorsqu'on ne pourra se servir que d'eaux plus ou moins saumâtres. On comprend dès-lors combien serait inefficace un drainage peu profond, exécuté dans les conditions où il avait été proposé avant nous pour la Camargue, en utilisant l'écoulement naturel, toujours insuffisant, sans aucune précaution pour éviter l'irruption des eaux saumâtres et pour se débarrasser à mesure des eaux de colature.

Un pareil drainage n'aurait d'autre effet que de rendre le sol plus perméable, de faciliter l'évaporation, et d'augmenter par suite l'accumulation totale du sel dans le sol, et plus encore l'accumulation relative dans les couches supérieures.

Dans l'état normal, la quantité de sel qu'un terrain peut s'incorporer à nouveau, par le fait d'une submersion périodique, est limitée par la proportion d'eau saumâtre qu'il peut absorber à la fin de la saison sèche. Cette dernière quantité dépend elle-même du coefficient d'absorption du sol et de la profondeur à laquelle se produit l'assèchement; profondeur qui dépasse rarement, après un été chaud, une tranche verticale de 0,10 à 0,15 en Camargue, de 0,20 à 0,30 sur le sol spongieux du marais de Vic.

[1] *Annales des Ponts-et-chaussées.*

Si le terrain est mis à l'abri des submersions accidentelles, mais qu'il soit alimenté d'une manière constante par une irrigation souterraine, son évaporation superficielle peut devenir presque égale à celle d'une nappe d'eau à l'air libre [1], atteindre une hauteur de 2m,00 et plus, déterminer par suite une concentration de sel dix et quinze fois plus forte qu'elle n'aurait eu lieu dans les conditions naturelles.

[1] L'évaporation, à la surface d'un terrain saturé d'eau, diffère peu de celle qui a lieu sur une surface égale d'eau libre, douce ou salée.

La proportion diminue à mesure que le sol s'éloigne du point de saturation, mais est encore très-notable tant que la quantité d'eau contenue dans ce sol n'a pas été réduite de plus de moitié. Nous avons fait à cet égard une expérience directe qui a porté sur quatre vases cylindriques en fer-blanc, de mêmes dimensions, soumis à l'évaporation atmosphérique dans des conditions identiques et contenant:

Le premier, de l'eau pure maintenue à un niveau constant;

Le deuxième, de l'eau salée à 0,05 *idem*;

Le troisième, une marne calcaire;

Le quatrième, une argile ocreuse très-spongieuse.

Des pesées comparatives faites toutes les semaines et cumulées de quatre en quatre, nous ont donné, pour une durée totale de vingt semaines, les résultats indiqués dans le tableau ci-après.

Pertes en poids résultant de l'évaporation.

	Eau pure.	Eau salée.	Marne.	Argile.	ÉVAPORATION MOYENNE des deux terres absolue.	relative.
1re période	188g	166g	153g	144g	148g	0,79
2e id.	187	176	112	120	116	0,62
3e id.	225	215	95	70	83	0,37
4e id.	195	200	40	35	37	0,19
5e id.	170	117	30	20	25	0'15
Après dessiccation complète des terres à l'étuve	»	»	60	93	77	»
Poids total de l'eau évaporée.	965g	874g	490g	482g	486g	»
Poids des terres à siccité	»	»	1330	1422	»	»
Coefficients d'absorption	»	»	0,37	0,34	»	»

Ces considérations, appuyées de l'exemple du marais de Vic, établissent suffisamment que l'opération du dessalement par lessivage n'est pas aussi simple qu'on aurait pu le croire de prime-abord; elle demande une attention soutenue et exige avant tout d'être menée d'ensemble, à la fois sur toute la surface des terrains que l'on veut traiter. En opérant partiellement, non-seulement on perd un temps précieux, mais on s'expose à déplacer seulement une partie du sel, au lieu de l'évacuer définitivement, à détruire complètement les résultats obtenus sur les premiers terrains lorsqu'on voudra dessaler les autres.

Avant de faire une application pratique de la méthode de dessalement par lessivage au marais de Vic, nous avons procédé à diverses expériences de laboratoire qui nous ont donné sur la marche de l'opération des résultats assez inattendus pour que nous croyions devoir les rappeler ici.

Le lessivage n'agit pas, comme nous avions lieu de le penser, par un simple écoulement de l'eau à travers les interstices du sol, dissolvant à mesure une partie du sel incorporé dans les parois de ces tubes capillaires. Il paraît opérer par voie de déplacement complet. L'eau ajoutée à la surface d'un vase cylindrique contenant de la terre saturée de liquide, détermine l'écoulement, par l'orifice inférieur du vase, d'une quantité d'eau égale en volume, mais dont la salure dépend uniquement de celle du terrain [1] et n'est point influencée par celle de l'eau ajoutée.

[1] Sur un vase contenant 1 220 grammes de terre de jardin saturée d'eau distillée, nous avons versé, à intervalles successifs de vingt-quatre heures, suffisants pour assurer l'écoulement des eaux de drainage, des poids égaux de 50 grammes chacun, d'eau fortement salée, contenant 5 p. °/₀ de sel marin. Des quantités égales d'eau de drainage ont été recueillies à chaque fois. Leur salure, nulle pour le premier lavage, a

On ne saurait sans doute comparer de tout point un filtre de laboratoire à celui que constitue un drainage de cent hectares. Les résultats sont cependant toujours analogues. L'eau de lessivage amenée sur les tables agit surtout par déplacement. Il importe dès-lors de ne pas s'en rapporter aux apparences, de ne pas considérer le dessalement comme terminé, parce que la surface du terrain ne contiendra plus de sel, ou parce que les eaux de drainage seront sensiblement douces. La salure de ces dernières correspond à celle des couches successives du terrain dont les eaux sont refoulées l'une après l'autre. De là des différences très-considérables, dont il est essentiel de se rendre compte par de nombreuses analyses des eaux et du sol pris à diverses profondeurs.

Les travaux du marais de Vic n'étant pas encore terminés, nous croyons devoir ajourner les détails techniques que nous aurons à donner sur l'opération du dessalement. Ils trouveront leur place dans une publication spéciale que nous nous réservons de faire plus tard. Les explications que nous venons de donner sur les causes du phénomène de la salure des terrains et sur le principe de l'opération du dessalement par lessivage, sont pour le moment suffisantes. Elles nous paraissent mettre le succès hors de doute, toutes les

été seulement de 0,0008, 0,003, 0,011, 0,016 pour les quatre suivants. La salure du sol n'a été complète qu'après le seizième lavage, au moment où la salure des eaux de drainage était précisément égale à celle des eaux d'arrosage.

L'expérience a été reprise sur le terrain ainsi salé à saturation, en l'arrosant à chaque fois avec 100 grammes d'eau distillée. Les deux premiers lessivages ont déterminé l'écoulement de 200 grammes d'eau chargée à 0,05. La salure n'a commencé à diminuer qu'au troisième lavage.

Nous croyons inutile de multiplier les données numériques de nombreuses expériences qui nous ont toujours conduit aux mêmes résultats.

fois qu'on aura à opérer sur des terrains à sous-sol imperméable, qu'on pourra isoler complètement des eaux saumâtres extérieures et arroser à volonté avec des eaux douces. Nous reviendrons encore une fois sur cette importante question, dans la seconde partie de cet ouvrage.

LXXI.

Théoriquement, la difficulté préalable du dessalement peut dès à présent être considérée comme pleinement résolue. Nous pouvons dès-lors aborder la question générale de l'amélioration et de l'assainissement de tous les terrains bas et marécageux avoisinant le littoral ou l'embouchure des cours d'eau, dans les mers à niveau constant.

En traitant de la formation des deltas directs et des cordons littoraux, nous avons vu que tous ces terrains pouvaient se ramener à deux catégories distinctes.

La première comprend la majeure partie des sols marécageux, en dehors de l'île centrale des deltas, caractérisés par une double pente longitudinale et transversale. Il est possible de mettre cette disposition à profit pour l'amélioration, sinon immédiate et complète, du moins progressive, de ces terrains ; mais ils ont par contre l'inconvénient d'être le débouché naturel et obligatoire d'une partie souvent notable des affluents inférieurs de la vallée principale, ce qui rend à peu près impossible tout épuisement par machine élévatoire.

Les terrains de la seconde catégorie se composent au contraire de cuvettes ou marais profonds, n'ayant aucune pente dont on puisse profiter pour assurer leur écoulement direct, dans lesquels un épuisement artificiel est plus ou moins nécessaire. Dans cette dernière classe se rangent,

outre les cuvettes intérieures des deltas, celles qui se trouvent dans les criques les plus reculées des coteaux limitant le continent primitif, ainsi que les portions de lagunes qui, trop éloignées des cours d'eau principaux pour être entièrement colmatées, n'en ont pas moins été à demi comblées par des torrents et des ravins.

Les terrains de la première catégorie sont caractérisés par une double pente, l'une longitudinale vers la mer, l'autre transversale à partir des berges naturelles ou artificielles du cours d'eau; cette dernière se continuant jusqu'à la ligne des coteaux qui limitent le continent primitif, et au pied desquels se trouve aujourd'hui le thalweg d'écoulement des eaux débordées.

La branche du cours d'eau qui occupe le véritable faite de la plaine n'ayant pas en général une section suffisante pour débiter le volume si considérable des grandes crues de nos rivières torrentielles, tout l'excédant des eaux, — soit par déversement naturel au-dessus des digues, soit par des brèches ouvertes dans ces mêmes digues, — doit finir par se répandre dans les plaines latérales, et s'écouler en nappe plus ou moins épaisse, plus ou moins large, suivant le pied des coteaux jusqu'à la mer.

L'inconvénient le plus sérieux pour les cultures n'est pas cet écoulement en nappe, — qui n'est qu'accidentel et s'opère assez promptement, auquel d'ailleurs il serait à peu près impossible de remédier entièrement, — mais bien l'évacuation des dernières eaux qui ont imbibé le sol, ou qui sont retenues dans les parties les plus basses du terrain, où elles forment des marécages d'autant plus persistants qu'ils sont entretenus par tous les affluents de la vallée, n'ayant pas d'autre écoulement vers la mer.

Deux moyens sont tour à tour employés par les commu-

nes ou les particuliers, pour assurer l'écoulement de ces dernières eaux : l'abaissement du plan d'eau dans les marécages par l'ouverture de fossés d'évacuation, et le relèvement du sol par le colmatage.

Il est aisé de comprendre pourquoi ces deux moyens, qui se contrarient l'un l'autre, n'ont en général abouti à aucun résultat satisfaisant.

Chaque commune ou groupe d'intéressés s'occupe en effet de rejeter ses eaux sur les terres du groupe d'aval, sans s'inquiéter de ce qu'elles deviendront. Exécutés isolément, les canaux d'évacuation d'un territoire ne sont en général que des canaux de submersion pour le territoire inférieur.

Le colmatage, laissé à la disposition des particuliers, n'intervient d'ailleurs que comme un nouvel élément de désordre, car l'exhaussement factice d'une partie de la plaine ne produit une amélioration sur un point, qu'en aggravant les conditions d'écoulement de terrains souvent beaucoup plus étendus en amont.

Deux autres causes viennent en outre paralyser le plus souvent tous les essais tentés pour l'amélioration de ces plaines basses, latérales aux cours d'eaux limoneux.

Sur bien des points on s'est figuré, en premier lieu, pouvoir profiter d'un rétrécissement accidentel de la plaine, rapprochant le thalweg véritable du cours d'eau principal, pour rejeter dans ce dernier les eaux des fossés d'évacuation supérieurs. Mais si les grandes crues, pouvant produire un déversement des cours d'eau par-dessus les digues latérales, sont rares et de courte durée, il n'en est pas de même des crues habituelles faibles ou moyennes, pendant lesquelles la rivière, coulant à pleins bords, se maintient souvent pendant des mois entiers à un niveau supérieur à

celui des plaines riveraines; auquel cas les canaux d'évacuation, ramenés dans le lit central, fonctionnent au rebours de leur destination normale, en conduisant de nouvelles eaux dans les marécages qu'ils étaient destinés à dessécher. Nous pouvons donc poser comme premier principe que, pour avoir un résultat réellement utile, un canal d'évacuation doit toujours avoir un débouché spécial, indépendant de celui de la rivière principale.

Une autre cause d'insuccès résulte d'un système d'écononomie mal entendu, par suite duquel on a voulu souvent donner une double destination à un même canal, en le faisant tour à tour servir à l'évacuation et au colmatage.

Une distinction est absolument nécessaire à cet égard. Tout canal qui sert au colmatage ou à l'irrigation par eaux troubles, s'atterrit par ce fait même. Non-seulement il ne pourrait dès-lors servir à l'évacuation, sans des dépenses considérables de curage; mais encore, par la reproduction du phénomène général de relèvement des rives, les terrains voisins s'exhaussent promptement, et ce canal ne tarde pas à ne plus occuper le point bas de la vallée dans lequel on l'avait établi. Le marécage se déplace parallèlement à lui-même. Si les rives du canal s'améliorent, ce n'est qu'à la condition d'amener la submersion d'une surface au moins égale dans les terrains voisins.

D'où découle, comme second principe, devant servir de base à tout projet d'amélioration générale, la nécessité d'établir une séparation aussi complète que possible entre les canaux d'évacuation et ceux de colmatage; les premiers devant toujours occuper les points bas de plaine, les seconds des faites relatifs.

Enfin, comme dernière condition résultant en quelque sorte de l'application de ces deux principes, on doit s'atta-

cher à arrêter d'une manière définitive le relief de la plaine, de telle sorte que, — par l'action continue des causes naturelles et persistantes, — ce relief ne fasse que s'accentuer de plus en plus de lui-même à chaque crue.

Ce résultat final sera obtenu si l'on adopte l'ensemble des dispositions suivantes :

1° Maintien du bras naturel ou existant de la rivière, comme canal principal de colmatage, occupant le faîte de la plaine, renfermé entre des digues à section décroissante, disposées de manière à pouvoir contenir autant que possible les grandes crues à l'origine du déversement, et à ne répandre l'excédant sur les pentes latérales que par des canaux de colmatage secondaires, normaux à sa direction, convenablement espacés et se dirigeant avec des sections décroissantes vers la ligne des coteaux.

2° Construction d'un canal principal d'évacuation, à section croissante, se continuant jusqu'à la mer, établi au pied des coteaux dans la partie la plus basse de la plaine, ayant autant que possible une capacité suffisante en chaque point pour contenir les eaux successivement dérivées, en même temps que celles des affluents latéraux.

3° Établissement d'une série de canaux d'évacuation ordinaires, intercalés entre les canaux de colmatage de même ordre, à section croissante, venant déboucher dans le canal de vidange principal, au pied des coteaux.

On voit *à priori* qu'un pareil réseau de canalisation, établi et maintenu sous la surveillance efficace d'un syndicat bien organisé, remplirait toutes les conditions du programme que nous nous étions proposé.

La plaine se trouverait divisée en une série de petites vallées à double pente, dont les canaux de colmatage formeraient les faîtes et les canaux d'évacuation les thalwegs. Le

relief ainsi arrêté, par la tendance même des choses, ne pourrait que se dessiner de plus en plus à chaque crue, en améliorant d'autant les conditions d'écoulement et d'assainissement.

Ces dispositions générales pourront être modifiées parfois par des circonstances particulières. En général, on ne pourra pas songer à renfermer toutes les plus grandes crues entre les digues, encore moins à recevoir toutes les eaux d'évacuation dans un canal spécial. L'écoulement en nappe restera toujours un mal nécessaire, mais dans des circonstances qui seront de plus en plus rares et de moins en moins désastreuses : à mesure que les canaux de colmatage et les digues du cours d'eau principal s'exhausseront ; à mesure que les canaux d'évacuation, conservant toujours le même plan de pente et le même plafond, s'encaisseront dans des terres de jour en jour plus élevées.

Cette disposition générale de la répartition des limons et de l'évacuation des eaux claires est si naturelle, qu'elle existe d'elle-même à l'embouchure de toutes les vallées qui conservent une section sensiblement uniforme. Dans ces circonstances normales, on retrouve toujours un canal d'évacuation longeant le pied des coteaux et recevant les eaux dépouillées de leurs troubles. Il en est autrement lorsque la section de la vallée est irrégulière, soit que les coteaux se creusent en criques profondes, comme sur le cours de l'Aude ; soit que la pente longitudinale se trouve barrée par d'anciens cordons littoraux, comme dans les basses plaines du Rhône.

Dans de telles conditions, la main de l'homme a dû intervenir, et, bien qu'il ait été instinctivement amené à se rapprocher des dispositions que nous venons d'indiquer, on est forcé de reconnaître que des conséquences fâcheuses

sont parfois résultées de ce qu'il s'en est écarté en partie.

Dans la vallée du Rhône notamment, il est à regretter que le canal d'Arles à Bouc, qui sert d'évacuateur principal aux basses plaines de la rive gauche du plan du Bourg, ait été placé entre le fleuve et les marais de Fos, ce qui l'expose à s'atterrir, et rend au contraire à tout jamais impossible le colmatage direct de ces marais. Ce double inconvénient aurait été évité, si l'on avait pu établir le canal au-delà de son emplacement actuel, au pied de la berge insubmersible de la Crau. La présence de couches de poudingues difficiles à traverser, a malheureusement nécessité le tracé, défectueux au point de vue de l'amélioration agricole, auquel on a dû s'arrêter.

Sur la rive droite du même fleuve, au contraire, le canal de Beaucaire a reçu un tracé plus convenable au pied des coteaux de Saint-Gilles; mais il fonctionne à la fois comme canal de colmatage dans les deux biefs supérieurs, comme canal d'évacuation dans le bief inférieur, ce qui a dû en exhausser les rives et reporter vers le Rhône le thalweg, dont l'emplacement naturel se trouvait le long des coteaux.

Une incertitude plus grande encore a présidé aux divers projets qui ont été présentés pour assurer l'écoulement des eaux de la rive gauche de l'Aude; mais la question est assez importante pour qu'elle nous ait paru mériter d'être traitée avec de plus amples développements dans la seconde partie de notre travail.

LXXII.

Nous venons de voir comment il serait possible de mettre à profit les inclinaisons naturelles de la plupart des terrains émergés, longeant nos rivières principales, pour les amé-

liorer d'une manière progressive et continue, en accentuant de plus en plus leur relief par l'action combinée des canaux de colmatage et d'évacuation.

Il nous reste à examiner par quels procédés on pourrait arriver à mettre en culture les parties les plus basses des alluvions, les cuvettes isolées, dont le fond est parfois à un niveau inférieur à celui de la mer, que leur défaut d'élévation ne permet pas d'assécher par les pentes naturelles, et qui ne sauraient l'être que par l'emploi de machines d'épuisement les transformant en polders analogues à ceux de la Flandre et de la Hollande.

On comprendra aisément qu'aucun essai sérieux n'ait pu être fait jusqu'ici dans cette voie, si l'on se rappelle ce que nous avons dit de l'action du sel sur les terrains récemment émergés. Quand un marais, par le fait du colmatage, s'est exhaussé de manière à être à peu près hors de l'eau, au lieu de chercher à le dessécher complètement, ce qui n'aboutirait qu'à le rendre tout à fait improductif, on s'attache bien plutôt à le recouvrir d'eaux douces, après l'avoir tant bien que mal mis à l'abri de l'irruption des eaux salées. On le transforme ainsi en marais roseliers, dont les produits exploités pour litière dans nos contrées du midi, où la paille manque, ne laissent pas d'avoir une certaine valeur proportionnée à l'importance des débouchés voisins. Dans les marais de Beaucaire et d'Aigues-Mortes, au voisinage des grands vignobles et des régions peuplées du littoral, les marais roseliers en bon état de produit rapportent souvent, sans aucun frais d'entretien ou de récolte, jusqu'à 150 ou 200^f net de revenu par hectare. Ces herbes palustres, au contraire, dans les vastes régions de la Camargue, loin de tout centre agricole, sont de nulle valeur.

Cette culture toute spéciale n'est d'ailleurs applicable

que dans des conditions particulières, sur les terrains qui peuvent être à la fois inondés par une grande quantité d'eau douce au printemps, et suffisamment asséchés en été pour qu'on puisse y faire la récolte des roseaux ; double circonstance qui ne se présente naturellement que dans les marais dont le fond est supérieur au niveau de la mer et inférieur à celui de l'écoulement normal des eaux douces, c'est-à-dire assez rarement.

En dehors de ces circonstances exceptionnelles et des terrains inclinés dont nous avons parlé tout à l'heure, et qui peuvent être amenés à n'avoir à souffrir que de submersions accidentelles; pour la majeure partie de nos marécages du littoral, il ne saurait y avoir de demi-mesure.

Toute tentative partielle ou incomplète, dans le genre de celles qui ont été proposées le plus souvent, essayées parfois, échouerait forcément. Il faut donc, ou laisser ces terrains improductifs comme ils le sont actuellement, ou les ramener à l'état normal de parfaite culture par un dessalement et un desséchement complets.

Là est la véritable solution du problème. Vouloir accroître de quelques centaines de francs par hectare la valeur d'un marais, est chose en général impossible ; se proposer de le transformer en peu de temps en terres riches et fertiles, est au contraire une entreprise dont le succès sera certain, toutes les fois que l'on aura affaire à des alluvions fluviales naturellement fertiles et suffisamment étanches pour qu'on n'ait à lutter que contre les eaux zénitales, sans avoir à redouter des filtrations extérieures.

Le sol de ces marais est en effet formé de profondes alluvions argileuses. Riches des principes fertilisants depuis si longtemps enfouis dans leur sein, ils doivent à la présence du sel, rendant toute végétation impossible, de ne point

être, comme les marais du nord, encombrés de dépôts tourbeux qui ne se prêtent qu'à des cultures médiocres.

Du jour où ils auront été desséchés et dessalés, de tels terrains se trouveront bien évidemment dans de meilleures conditions que ceux du voisinage, ayant la même origine. Or ceux-ci, bien qu'ils soient épuisés par des cultures séculaires, n'en sont pas moins propres à la production des céréales, des plantes fourragères et même de la vigne. Sur plusieurs points, comme les bords de l'étang de Capestang ou ceux de l'étang de Mauguio, ces terres riveraines se vendent de 12 à 15 000f l'hectare, sans que leur valeur descende jamais au-dessous de 5 à 6 000.

Avec une telle marge devant soi, on comprendra qu'on puisse sans crainte aborder des dépenses devant lesquelles on reculerait bien certainement, s'il ne s'agissait plus que d'une amélioration précaire ou incomplète.

Nous avons déjà exposé les procédés par lesquels il est possible d'arriver en peu de temps au dessalement complet d'un terrain par l'action continue du drainage et du lessivage à l'eau douce. Il est aisé de voir *à priori* que la seconde partie du programme, consistant à dessécher le terrain ou à se rendre entièrement maître des eaux jusqu'à une certaine profondeur au-dessous de la surface du sol, qui serait le niveau de débouché des tuyaux collecteurs de drainage, est théoriquement une chose praticable. Lorsqu'on peut, en effet, entourer un marais de digues insubmersibles, il est toujours également possible de compléter sa transformation en polder, et de l'épuiser par un nombre suffisant de machines.

Ce ne saurait plus être là qu'une question d'argent qu'il nous reste à examiner, en cherchant quelles seront, en général, les conditions d'une telle entreprise.

L'inégale répartition des pluies, qui dans nos contrées du midi tombent parfois en véritables avalanches aux époques des équinoxes, est sans doute un inconvénient; mais il peut être en partie contrebalancé par la puissance considérable d'évaporation qui agit sur le sol aux autres époques de l'année, et représente, en somme, une colonne d'eau double de celle qui est produite par les pluies.

LXXIII.

Nous avons défini sous le nom d'absorption spongieuse, la faculté qu'a le sol végétal de retenir à l'état de combinaison physique une quantité d'eau variable, dont le poids, relativement à celui du terrain, peut aller de 20 p. °/₀ dans les terres argileuses et compactes, jusqu'à 60 p. °/₀ dans les terres calcaires éminemment poreuses, comme celles du marais de Vic.

Cette quantité d'eau qui s'incorpore dans le sol sans le rendre impropre à la végétation, est loin de lui être indispensable dans sa totalité. Elle constitue une sorte de réserve d'eau que le sol emmagasine, dont l'évaporation atmosphérique et l'absorption végétale peuvent le priver en partie, sans qu'il ait rien perdu de sa puissance productive. Nous ne saurions préciser quelle est au juste la proportion d'eau que le sol pourrait ainsi perdre sans inconvénient; nous avons tout lieu de croire cependant qu'elle varie de la moitié aux deux tiers, représentant par suite, pour le marais de Vic, une tranche de $0^m,30$ à $0^m,40$, en admettant que l'évaporation se fasse sentir sur toute l'épaisseur de la couche drainée, soit sur 1^m environ. En réalité, il n'en est pas tout à fait ainsi; l'évaporation est surtout superficielle et ne se fait sentir que lentement dans les profondeurs du sol.

Nous n'en avons pas moins constaté par expérience que nos bonnes terres végétales argilo-calcaires, — qui ont été exposées pendant tout l'été aux ardeurs du soleil, sans arrosage, tout en restant propres à une riche production végétale, — peuvent absorber jusqu'à $0^m,20$ ou $0^m,25$ d'eau aux premières pluies d'automne, sans donner aucune trace de submersion ou d'écoulement superficiel.

A plus forte raison en serait-il de même d'une terre ameublie par le drainage. Nous pouvons donc considérer le sol d'un marais traité par nos procédés, comme pouvant absorber, à la fin de l'été, le produit d'une première série d'averses de $0^m,20$ à $0^m,25$ d'épaisseur. C'est à peu près la quantité d'eau pluviale qui peut tomber moyennement pendant la période des fortes pluies d'équinoxe, du 15 septembre au 30 octobre. La machine d'épuisement n'aurait donc à fonctionner que pour les pluies suivantes, qui sont beaucoup plus régulières et qui surviennent dans une saison où, toute végétation étant arrêtée, une submersion accidentelle de peu de durée, sur une hauteur de quelques centimètres à peine, serait sans le moindre inconvénient.

En profitant de cette ressource, en considérant le sol végétal comme constituant une sorte d'éponge qui se viderait par le fait de l'évaporation en été, et acquerrait la faculté d'absorber les premières pluies d'automne, le travail des machines d'épuisement pourrait être aisément régularisé, et leur puissance réduite bien au-dessous de ce qu'on aurait pu supposer *à priori*.

Bien qu'il soit naturel de tenir compte de cette circonstance, faisant précisément tourner au profit de l'amélioration agricole des terrains marécageux du littoral la force d'évaporation qui, en concentrant le sel dans le sous-sol, avait été jusqu'ici la cause principale de leur infertilité,

nous croyons qu'il sera prudent de ne pas réduire outre mesure la puissance des machines d'épuisement. L'économie en frais de premier établissement serait minime. En augmentant au contraire la force des machines, on aura non-seulement l'avantage de pouvoir se débarrasser rapidement d'une surabondance d'eau accidentelle, mais même de pouvoir employer utilement cette force motrice, soit à l'irrigation en été, soit à la plupart des travaux agricoles. Nous reviendrons (XCVIII) sur cette importante question de l'emploi des machines en agriculture, qui ne peut être susceptible d'une application pratique dans la plupart des circonstances habituelles ; qui nous parait, au contraire, être à la fois la méthode la plus rationnelle et la plus économique qui puisse être adoptée pour la mise en valeur des marais du littoral. Sur ces vastes surfaces, parfaitement horizontales, non morcelées, où rien ne peut arrêter ou gêner le jeu des machines, les inconvénients qu'elles présentent ailleurs n'existent plus. Leur emploi, déjà commandé pour l'épuisement, ne sera pas seulement avantageux pour tous les travaux agricoles, il sera indispensable pour suppléer à l'absence des bras. Il n'y aurait pas, en effet, seulement inhumanité, mais fausse manœuvre à vouloir brusquement attirer, à prix d'argent, une trop nombreuse population ouvrière dans ces contrées empestées par la fièvre. Tant qu'on ne les aura pas assainies, il faudra autant que possible réduire la quantité de force ouvrière à employer, substituer les machines aux bras des travailleurs.

Sans trop nous arrêter aux économies de force motrice qu'on pourrait réaliser en mettant à profit la force d'évaporation, nous croyons qu'au point de vue de l'épuisement, dans le cas le plus ordinaire d'une élévation moyenne de $1^{m},00$ à donner à la masse d'eau à évacuer, il sera bon

de compter sur une puissance effective d'un cheval vapeur pour chaque surface de 10 à 12 hectares. Il faudrait par suite deux machines de quinze chevaux pour un domaine de 400 hectares, qui nous paraîtrait être la superficie moyenne sur laquelle il serait en général plus avantageux d'opérer.

En admettant un rendement moyen de 60 p. % en eau montée, chiffre qui n'a rien d'hypothétique, car il a été obtenu au marais de Vic, chaque machine pourra élever 675 litres d'eau par seconde à $1^m,00$ de hauteur, ce qui, pour un travail forcé de 20 heures sur 24, en temps d'inondation, répond à une évacuation journalière de 100 000 mètres cubes. Sur un domaine de 400 hectares, la tranche d'eau enlevée journellement représentera une hauteur de 0,025.

La colonne d'eau pluviale tombée en un mois dépasse rarement $0^m,25$ à $0^m,30$. Les machines seront donc largement suffisantes pour y suffire. Parfois, il est vrai, cette quantité moyenne, au lieu de se répartir uniformément, tombe en quelques jours, parfois même en quelques heures. Si cette circonstance, toujours assez rare, ne coïncide pas avec un état de siccité du marais suffisant pour que la couche superficielle absorbe une partie notable des eaux, on pourra sans doute être exposé à une submersion; mais la durée en sera très-courte et ne dépassera pas sept ou huit jours. Or, on sait par expérience que, sauf quelques circonstances particulières, la majeure partie des cultures peuvent supporter sans grands inconvénients une submersion pareille, au moment surtout où la végétation est ralentie.

Sauf cette coïncidence exceptionnelle d'une forte averse inondant un sol déjà imbibé par une pluie antérieure, l'action alternative de l'absorption du sol végétal et de l'évaporation fera disparaître une très-notable partie des eaux pluviales. Si nous ne tenons pas compte de celles qui

pourront être introduites artificiellement pour les besoins de l'arrosage, l'évacuation par machines ne dépassera certainement pas les deux cinquièmes ou la moitié au plus de l'eau zénitale, soit environ 4 000 mètres cubes par hectare. Pour un domaine de 400 hectares, l'évacuation totale restera au-dessous de 1 600 000^{m}, représentant 320 heures de travail des deux machines, soit : un mois environ si ces machines fonctionnent de jour et de nuit ; deux mois si les pluies sont assez uniformément réparties pour qu'on puisse se borner à les faire marcher de jour pendant une moyenne de dix heures.

Pendant les cinq sixièmes du temps, tout au moins, les machines d'épuisement n'auront donc aucun travail à effectuer, et l'on comprend combien il sera avantageux de pouvoir les utiliser, soit à l'arrosage en été, soit aux divers travaux d'exploitation agricole, tels que le labourage, la moisson, le fauchage, etc., etc.

Nous aurons occasion, dans la seconde partie de cet ouvrage, de faire connaître les prix de revient et les dépenses, tant en frais de premier établissement qu'en frais annuels, que nécessiteront l'installation et l'emploi des machines. Il nous suffit pour le moment d'avoir exposé les principes théoriques qui doivent forcément amener la transformation et la mise en valeur des terres salées et des marais du littoral. Nous reviendrons sur les conditions économiques d'une entreprise de ce genre, et ferons voir en temps et lieu combien les résultats en doivent être rémunérateurs.

CHAPITRE XII

THÉORIE DES IRRIGATIONS AU POINT DE VUE DE LEUR ACTION GÉOLOGIQUE.

LXXIV.

Il pourrait paraître étrange de présenter un traité d'hydraulique agricole sans parler avec quelques détails des irrigations. Plus que jamais, dans ces derniers temps, nous en avons vu préconiser l'emploi. Si l'on devait prendre pour terme général de comparaison l'exemple de certaines contrées de l'Europe, telles que la Lombardie en Italie, la plaine de Valence en Espagne, celles du Roussillon et du Comtat en France, qui ne doivent leur prospérité agricole qu'à l'existence des canaux d'arrosage, on ne saurait trop en recommander la propagation sur tous les points où il paraîtrait possible d'en établir.

Nous croyons cependant qu'il y aurait une certaine exagération dans cet engouement irréfléchi. Les eaux d'arrosage jouent un double rôle en agriculture : elles maintiennent une humidité suffisante sur les terrains naturellement trop secs ; elles agissent, en outre, par les matières minérales à l'état de suspension ou de dissolution qu'elles amènent à la surface du sol.

Envisagées uniquement au premier point de vue, les irrigations ne sont réellement indispensables, nous pour-

rions même dire utiles, que sur des sols naturellement médiocres. Toutes les fois qu'une terre végétale a une épaisseur et une consistance suffisantes, elle jouit de la propriété, même dans nos contrées les plus chaudes du midi de l'Europe, d'absorber et de maintenir dans cet état de combinaison physique que nous avons précédemment défini, la quantité d'eau nécessaire au développement des récoltes les plus usuelles. Telles sont, sous un de nos climats les plus secs en France, les riches terres argilo-calcaires du département de l'Hérault. Bien qu'elles restent habituellement pendant trois ou quatre mois d'été presque entièrement privées d'eau pluviale, elles souffrent très-rarement de la sécheresse, et le plus souvent ont plutôt besoin d'un drainage profond pour les débarrasser d'un excès d'humidité au printemps, que d'un arrosage artificiel en été.

Un ingénieur nous ayant un jour consulté sur les avantages probables qu'on aurait à attendre de l'établissement d'un canal dérivé du Rhône qui se prolongerait, dans le département de l'Hérault, de Lunel à Cette, en embrassant un périmètre arrosable de 20 000 hectares, nous lui avons hardiment affirmé qu'il ne trouverait pas à arroser 100 hectares, et nous ne mettons pas en doute que l'expérience, si jamais on avait la malencontreuse idée de la tenter, ne confirmât entièrement nos prévisions.

Il est bien entendu toutefois que nous ne parlons que des sols profonds et consistants. S'il s'agit au contraire de terrains légers, sablonneux ou caillouteux, qui absorbent peu d'eau à l'état de combinaison physique, et sur lesquels l'action de l'évaporation est en même temps très-active, il ne saurait être constesté que l'irrigation produira sur eux les meilleurs effets. Tels sont les terrains d'origine diluvienne

qui forment : en France le sol du Comtat, de la Crau, du Roussillon; en Espagne, celui de la plaine de l'Èbre autour de Saragosse. Abandonnés à eux-mêmes, ces sols maigres seraient complètement improductifs, et n'acquièrent une fertilité relative que par des arrosages répétés. Mais sur ces terrains eux-mêmes, pour lesquels l'irrigation est de première nécessité, elle n'agit pas seulement en maintenant l'humidité du sol. Envisagées à ce point de vue exclusif, faites avec l'eau chimiquement pure, en un mot, les irrigations seraient loin de produire des effets toujours également avantageux. Dans les plaines du Comtat, que nous citions tout à l'heure, les propriétaires qui ont à leur disposition, presque gratuitement, les eaux limpides de la fontaine de Vaucluse, dont les dérivations sillonnent le sol en tout sens, en font fort peu de cas. Plutôt que de s'en servir, ils préfèrent s'associer pour aller, à grands frais, chercher les eaux limoneuses de la Durance, dont l'action fertilisante est bien autrement efficace.

LXXV.

Considérée au point de vue de la physiologie végétale, l'eau est sans doute un élément constitutif des plus importants dans les tissus végétaux, un véritable amendement aussi nécessaire que ceux qui sont empruntés aux diverses substances minérales. Elle est en outre très-probablement le dissolvant essentiel qui rend ces dernières substances assimilables ; à ce double titre, sa présence dans le sol est indispensable. Lorsque l'atmosphère ne la fournit pas en quantité suffisante, ou, ce qui est le plus fréquent, lorsque le sol ne jouit pas d'une constitution physique convenable pour retenir et emmagasiner dans ses pores la réserve

d'humidité nécessaire, il faut forcément recourir aux irrigations artificielles pour y suppléer. Mais les irrigations, en même temps qu'elles sont un puissant stimulant de végétation, sont très-épuisantes. L'excédant des eaux qui s'écoule d'une manière quelconque à la surface ou dans le sous-sol, se charge d'une quantité notable de substances assimilables, dont la proportion est en général si faible dans le sol. Lorsque l'arrosage se fait à l'eau pure, des engrais abondants et énergiques sont indispensables pour lutter contre cette cause de dépérissement. Le prix de ces engrais serait en général assez élevé pour compenser, et au-delà, les bénéfices qu'on pourrait attendre des arrosages, si les eaux ne rendaient habituellement au sol la majeure partie des éléments qu'elles tendent à lui enlever. Cette action des eaux d'arrosage, que nous pourrons appeler son *action géologique*, s'exerce de deux manières différentes, suivant que les substances apportées par les eaux sont à l'état de simple suspension ou à l'état de dissolution.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'importance des troubles apportés par les eaux ; leur étude est le but essentiel de cet ouvrage. La valeur agronomique des alluvions limoneuses ne saurait être contestée, et nous n'avons pas besoin, pour la mettre hors de doute, de reproduire ici les faits nombreux que nous avons cités.

Mais ce n'est pas seulement par le dépôt des matières limoneuses en suspension que s'exerce l'action géologique des eaux d'arrosage ; elle est due parfois à la présence de sels invisibles, à l'état de complète dissolution. A côté d'eaux d'irrigation entièrement inefficaces par suite de leur trop grande pureté, on pourrait en citer d'autres qui, tout aussi claires et limpides en apparence, produisent des effets merveilleux, suffisants pour recouvrir en peu de temps les roches

les plus nues et les plus arides d'un épais tapis de verdure.

Aux sources de la petite rivière de l'Orb, dans la partie montagneuse du département de l'Hérault, se trouve le vallon de Ceilhes, encaissé de toutes parts dans des montagnes arides et incultes. La rivière le traverse dans sa plus grande longueur, et plusieurs dérivations établies pour le service de moulins en portent les eaux au niveau du sol. Rien ne serait plus facile que de les utiliser sans nouveaux frais pour l'arrosage des terres de la vallée, en général fort peu productives. Nous manifestions un jour notre étonnement aux habitants de la localité, de leur insouciance apparente à cet égard, d'autant plus difficile à comprendre qu'à peu de distance nous voyions des propriétaires se disputer la possession de minces filets d'eau s'écoulant des montagnes entre lesquelles s'engouffre l'Orb, en aval du vallon de Ceilhes. Il nous fut répondu que la nature des eaux était toute différente : que les eaux de la rivière étaient complètement inefficaces pour l'arrosage, tandis que celles des sources d'aval jouissaient des vertus les plus fertilisantes.

Nous ne tardâmes pas, en y réfléchissant, à nous rendre compte de cette différence d'action, qui n'avait rien que de très-naturel. Le vallon de Ceilhes forme un cirque creusé dans les marnes du lias, où prédomine l'élément calcaire, qui doit se retrouver dans les eaux de l'Orb, produites par des sources venant des mêmes terrains. Ces eaux n'apportent donc aucun principe nouveau aux terres de la vallée. Toute autre est au contraire l'action des sources débouchant dans les gorges que traverse la rivière au sortir du vallon. Elles naissent dans des terrains de transition où abondent les roches granitiques et feldspathiques. Leurs eaux doivent être chargées de substances alcalines qui expliquent leur action énergique sur la végétation.

En descendant plus en aval dans les gorges de l'Orb, on trouve une nouvelle confirmation de cette influence relative de la composition des eaux sur celle du sol. La nature des eaux, à raison de la masse prédominante de celles qui viennent des terrains calcaires, n'est pas notablement changée ; et cependant, pour peu qu'on les répande sur les sables et les grèves qui bordent la rivière, elles y développent une puissante production fourragère. Ce fait s'explique naturellement si l'on remarque que ces sables et ces graviers n'ont plus la même origine que les terres d'alluvion du vallon de Ceilhes, qu'ils proviennent des débris de roches granitiques arrachés aux gorges de l'Orb. Sur de semblables terrains, la chaux contenue dans les eaux de l'Orb, qui en amont restait inerte, acquiert une vertu toute nouvelle. Dans les deux cas, ce sont les principes solubles de l'eau qui ont agi, mais à la condition de compléter ceux qui se trouvent dans le terrain et non de les reproduire.

Tel est, croyons-nous, le principe essentiel qui, en dehors de toute analyse chimique, de toute expérience préalable, peut et doit servir de règle dans l'étude d'un projet de canal d'irrigation d'une grande portée. L'action de ses eaux sera d'autant plus efficace, qu'elles proviendront à l'origine d'une région qui, au point de vue de la constitution géologique, différera davantage de celle des terrains sur lesquels ces eaux seront amenées.

Les eaux de Vaucluse, sans effets sur le sol du Comtat, si l'on pouvait les faire refluer sur les terrains granitiques ou schisteux du Dauphiné, seraient pour eux tout aussi fécondantes que peuvent l'être pour le territoire d'Avignon les eaux de la Durance.

Cet antagonisme d'origine entre les eaux d'irrigation et les terrains qu'elles arrosent, n'a pas seulement lieu pour les

éléments minéraux solubles ; il se produit également pour les matières en suspension dont le dépôt produit l'alluvion, la terre végétale par excellence. Comme amendement sur un sol déjà formé, l'alluvion sera d'autant plus fertilisante qu'elle proviendra d'une région plus différente, qu'elle portera des feldspaths sur des calcaires, des argiles et des marnes sur des sables quartzeux. Si l'alluvion constitue le sol végétal tout entier, il sera d'autant plus productif que cette alluvion proviendra d'un bassin plus riche en terrains géologiques différents.

Par cette cause générale on peut expliquer la richesse toute particulière, la fécondité proverbiale des formations qui se sont produites aux confluents de deux rivières provenant de deux bassins géologiquement différents. Telles sont, sur la Garonne, les alluvions d'Aiguillon et de Moissac, aux confluents respectifs du Lot et du Tarn, rivières qui viennent mêler leur limon calcaire aux apports feldspathiques de la Garonne.

C'est à ce point de vue surtout de leur action géologique, que nous avons cru utile d'entrer dans quelques développements sur les irrigations. Cet ouvrage n'est ni un traité de technologie, ni une compilation. Sans nous croire obligé de résumer ici tout ce qui a été dit et écrit sur les irrigations en général, nous nous bornerons donc à signaler un côté de la question qui nous paraît avoir été trop peu connu, ou du moins trop peu remarqué jusqu'ici, et qui se rattache plus particulièrement au but essentiel de notre travail.

LXXVI.

Nous venons de définir l'action physiologique que les eaux claires d'arrosage exercent en agriculture par les substances minérales qu'elles tiennent en dissolution. Cette action, parfois très-importante, est nécessairement limitée quant à sa durée. L'excédant des substances qui ne sont pas immédiatement assimilées par la végétation, s'écoulent avec les eaux de colature. Leur effet ne se continue guère au-delà de la période même d'arrosage, et a besoin d'être incessamment renouvelé. Tout autre est le rôle des matières insolubles en état de suspension qui s'incorporent à la masse du sol, qui peuvent continuer leur action fertilisante jusqu'à épuisement complet des principes assimilables qu'elles contiennent.

L'agriculture a déjà su mettre à profit les troubles ainsi charriés par les eaux torrentielles. Des améliorations considérables ont été réalisées dans cette voie en Italie, dans le midi de la France, sur quelques points de l'Espagne. M. Nadault de Buffon, qui avait déjà traité toutes les questions techniques se rattachant à l'irrigation proprement dite, vient de publier un ouvrage spécial sur cette branche particulière de l'hydraulique agricole.

Nous n'avons nullement la prétention de suivre dans cette étude l'éminent ingénieur que nous venons de nommer. Notre but n'est pas de rendre compte des résultats déjà obtenus et de ceux qu'on peut espérer encore de l'emploi des troubles en agriculture ; nous nous proposons surtout d'étendre et de généraliser un procédé d'amélioration agricole dont les avantages sont incontestables, mais dont l'usage sera forcément restreint tant qu'on n'aura pas re-

produit artificiellement l'alluvion naturelle, dont on ne peut, en l'état actuel, disposer que rarement et sur quelques points privilégiés.

Le renouvellement dans le sol des substances nécessaires à l'alimentation des espèces végétales s'opère, dans la nature, de deux manières, par un double courant. Les courants gazeux de l'atmosphère, toujours en mouvement, apportent avec eux les éléments volatils désignés habituellement sous le nom d'organiques : l'hydrogène, l'oxygène, l'azote et le carbone à l'état d'acide carbonique. Les éléments solides ou minéraux, solubles ou non, ne sont renouvelés que par les courants aqueux, modernes ou diluviens, dont l'action naturelle, locale ou accidentelle, est essentiellement discontinue et a besoin d'être généralisée par la main de l'homme.

Tel est le point de départ de la théorie des torrents artificiels, but essentiel de cet ouvrage. Avant d'aborder cette importante question, il nous parait indispensable, dussions-nous nous répéter, de résumer en peu de mots ce que nous avons déjà dit de la nature des dépôts limoneux naturels et de leurs rapports avec la constitution du sol végétal.

Les matières minérales charriées par les torrents sont utilisées de deux manières par l'agriculture : employées en grandes masses pour émerger des terres basses submersibles, elles servent à former un véritable remblai; répandues en moindre quantité à la surface des sols déjà desséchés, elles servent à en modifier la constitution physique ou minérale, à titre d'amendement. Les deux opérations sont assez souvent confondues sous le même nom. Il sera plus naturel de les distinguer, de conserver la désignation spéciale de *colmatage* au remblai proprement dit, celle de *limonage* au simple amendement.

Le colmatage se fait indifféremment avec tous les troubles ; le but essentiel est de relever le niveau du sol. On met à profit la plus grande quantité de dépôts dont on peut disposer, sauf à améliorer ensuite la nature du terrain ainsi obtenu. L'action du colmatage, dans les localités où il peut être appliqué, est forcément limitée par la durée des crues torrentielles. Telle rivière, comme la Durance, qui contient parfois 3 à 4 p. % de troubles pendant quelques jours ou quelques heures, n'en charrie en moyenne que 0,001 pendant toute la durée de l'année. Une dérivation permanente d'un mètre cube par seconde ne fournit annuellement pas plus de 30 000 mètres cubes de dépôt, et ce résultat même est une limite supérieure qui est rarement obtenue sur d'autres cours d'eau. Le canal d'atterrissement de l'étang de Capestang, puisant à discrétion dans le lit de l'Aude, une de nos rivières les plus limoneuses, avec un débit qui peut atteindre jusqu'à 20^{m} dans les grandes crues, n'a pas donné un cube annuel de remblai supérieur à 120 000 mètres pendant les années où il a librement fonctionné [1]. La puissance de comblement est ou serait bien moindre encore avec les rivières plus pauvres

[1] La quantité d'eaux limoneuses qui pourraient être introduites dans l'étang de Capestang n'est pas seulement limitée par la portée du canal d'atterrissement, mais par la nécessité d'écouler à mesure les eaux dépouillées de limons sans submerger les terres riveraines. En tenant compte de cette circonstance, nous avons constaté, pour une période de dix ans, qu'on ne pourrait introduire dans la cuvette, année moyenne, plus de 98 millions de mètres cubes d'eau.

Le dépôt annuel opéré à l'époque du fonctionnement ayant été de 120 000 mètres, en doit en conclure que la richesse des eaux troubles en limons ne dépasse pas 0,0012, pendant les crues dont la durée est de 100 jours. Une dérivation permanente de l'Aude d'un mètre cube par seconde ne donnerait pas annuellement plus de 10 000 mètres cubes de remblai, trois fois moins que la Durance.

en limons, telles que la Garonne, le Rhône, dans lesquelles la proportion des troubles charriés ne dépasse pas 0,0002 à 0,0003.

Toute matière minérale propre à constituer un dépôt, peut être utilisée pour un colmatage. Le limonage, au contraire, exige certaines conditions dépendant à la fois de la nature du sol qu'on veut amender et de celle des troubles qui doivent servir à l'améliorer. Telle alluvion qui produit une action fécondante sur un sol déterminé, reste inactive ou nuisible sur un autre terrain.

Les troubles charriés par les eaux torrentielles se rapportent à deux classes distinctes : le sable et le limon.

Le sable, formé de matières lourdes, ayant un volume et des dimensions appréciables, n'est entraîné par les eaux courantes, animées de faibles vitesses, qu'à l'état de roulement ou de glissement au fond du lit; après un temps suffisamment long de trituration, les sables de fond sont exclusivement quartzeux. Le calcaire et l'argile, complétement broyés à l'état de boue impalpable, constituent le limon, qui est charrié à l'état de suspension dans le courant. Cette distinction n'est pas complétement absolue : suivant que la vitesse du courant est plus ou moins grande, les particules sablonneuses peuvent être soulevées en plus ou moins grande quantité et rester mélangées dans le transport aux matières limoneuses [1].

[1] Cette circonstance se présente plus particulièrement pour une certaine classe de matières minérales qui, par le fait d'un lavage naturel, ne se transforment pas, par la trituration, en fragments sensiblement cubiques ou sphériques, mais en lamelles aplaties de faible épaisseur. Tels sont surtout les sables micacés qui, présentant une surface considérable relativement à leur poids, offrant une assez grande résistance au courant, participent des propriétés du limon dans le transport par les eaux courantes.

La classification que nous venons d'établir dans les troubles se retrouve dans les éléments de la terre végétale.

La partie active du sol végétal est le limon argilo-marneux (VIII). L'argile, produit de la désagrégation des feldspaths, porte ordinairement avec elle, à part la silice et l'alumine, la potasse, le fer et les diverses substances qui se trouvent dans les terrains primitifs. La marne calcaire, produit de la désagrégation de dépôts sédimentaires riches en débris fossiles, contient le phosphore, la soude, la magnésie, les sulfates, etc. L'alluvion limoneuse pure, telle que la charrient habituellement les cours d'eau torrentiels, composée de calcaire et d'argile, comprend donc tous les éléments minéraux[1] nécessaires au développement de la végétation. Chimiquement, elle pourrait donc à elle seule constituer de la bonne terre végétale. En fait, il n'en est généralement pas ainsi. A la composition minérale doivent se joindre certaines conditions physiques (V) qu'un dépôt exclusivement limoneux présente rarement. Abandonnée à elle-même, l'alluvion limoneuse a une tendance à s'agréger, par le fait de la dessiccation, en une couche compacte, homogène, que l'air et la lumière ne sauraient pénétrer, qui étouffe toute végétation. Une substance inerte est indispensable pour constituer avec l'alluvion limoneuse une bonne terre végétale, jouant le rôle du sable dans le mortier, de l'azote dans l'air atmosphérique. Cette substance

[1] Nous ne parlerons pas des éléments d'origine organique. Certains végétaux peuvent les emprunter directement à l'atmosphère et les fixer pour l'alimentation des plantes qui ne jouissent pas de cette faculté. Leur reproduction à l'état d'engrais, résultant d'un assolement et d'un fait de pure pratique agricole, est indépendant de la constitution géologique du sol, qui ne doit s'entendre que des éléments minéraux dont il est composé.

est en général le sable ; elle peut être suppléée par d'autres matières non-seulement minérales, mais organiques. C'est à ce titre surtout qu'agissent les résidus charbonneux de l'humus provenant de la désagrégation des engrais et des débris de végétations antérieures, dont le mélange, facilité par les labours, donne aux sols trop exclusivement limoneux la souplesse et la perméabilité qui leur manquent.

Nos meilleures terres végétales sont habituellement des alluvions modernes ; mais on peut aisément comprendre qu'une alluvion récente ne soit pas toujours immédiatement une bonne terre végétale.

Prenons pour exemple une rivière essentiellement limoneuse, la Durance. Les alluvions qu'elle charrie sont différentes suivant qu'elles proviennent de tel ou tel affluent. Uniquement composées parfois de schistes désagrégés, elles sont trop argileuses, manquent de calcaire, et ne sauraient à elles seules, par suite d'un défaut de composition minérale, constituer un bon sol végétal. Provenant le plus souvent d'un mélange en proportion chimiquement convenable de mollasses calcaires et de schistes, elles n'en sont pourtant pas beaucoup plus fertiles, et leur infériorité dans ce cas est due à une cause physique, à la force d'agrégation qui se développe en elles aussitôt après leur précipitation.

Les dépôts qui se forment sur le bord de la rivière même, mélangés de sable, sont en général les plus faciles à transformer en terres végétales promptement productives. Ceux qui proviennent des eaux dérivées par les canaux d'arrosage sont au contraire d'autant plus infertiles qu'ils s'éloignent davantage de l'origine. Les produits du curage des dernières branches des canaux de Craponne ou de Marseille, amoncelés en cavaliers sur les rives, présentent l'aspect de pierres endurcies et restent impropres à toute

végétation pendant de longues années. L'analyse indiquerait pourtant en eux la présence des matières minérales utiles à la production agricole. Leur infertilité provient uniquement de leur agrégation physique, qui ne peut être détruite que très à la longue, par les intempéries des saisons, l'action des pluies, du soleil et de la gelée, par la culture et le mélange des engrais organiques divisant le sol et suppléant à l'absence du sable.

Si nous prenons des rivières torrentielles d'un autre ordre, dans lesquelles l'élément limoneux soit moins dominant, provenant de terrains granitiques ou quartzeux, où le sable abonde ; les grèves latérales, composées uniquement de sables mouvants, restent stériles et improductives tant qu'elles ne sont pas recouvertes d'une certaine couche d'alluvions limoneuses. La transformation est en général immédiate dès qu'on amène la précipitation d'un dépôt vaseux. Sur les bords de l'Isère, du Var, de l'Hérault, de l'Orb, de tous les torrents des Cévennes, de la plupart des affluents de la Loire, il suffit de fixer les graviers des rives par des digues transversales ou par tout autre moyen, pour amener cette précipitation des limons et obtenir une terre aussitôt fertile.

Ces explications, déjà données dans cet ouvrage, mais qu'il nous a paru utile de reproduire, nous permettront de comprendre comment, à la condition de savoir fabriquer des alluvions artificielles, on pourra, suivant les circonstances, améliorer un sol existant, ou produire une nouvelle terre végétale.

S'il fallait constituer le sol de toutes pièces, à la surface d'un plateau de roc imperméable par exemple, un mélange de sables et d'alluvions limoneuses serait indispensable. Le transport de l'alluvion en grande masse est toujours

chose facile; une faible vitesse suffit pour la maintenir en suspension. Le canal de la Durance, avec une pente de $0^{m},33$ par kilomètre, en charrie parfois 4 ou 5 p. °/₀ et pourrait en charrier bien davantage. Les limons se maintiennent en suspension, non-seulement dans les moidres rigoles d'arrosage, mais dans les conduites fermées de distribution. Le dépôt, pour se produire, exige un repos presque absolu, et il suffit d'avoir vu fonctionner le service des eaux de la ville de Marseille, véritables boues liquides après certaines crues, pour comprendre la facilité qu'on aura toujours à maintenir le mouvement des alluvions limoneuses.

La question n'est plus aussi simple pour les sables; une assez forte vitesse est en général nécessaire pour les entraîner[1].

Mais il est fort heureusement un grand nombre de circonstances dans lesquelles le transport de l'élément sablonneux ne sera pas nécessaire. Avant de songer à recouvrir de terres fertiles les roches dénudées, les poudingues imperméables, il sera naturel de s'occuper des terrains meubles contenant déjà une partie des éléments du sol végétal. Telles sont en particulier les landes sablonneuses qui, dans l'ouest et le centre de la France, en Gascogne, en Sologne, en Bretagne, occupent de si vastes étendues. Une faible proportion de limons argilo-marneux suffira pour les transformer en terres fertiles. Le même résultat sera obtenu

[1] Il est cependant une variété de sables citée plus haut qui, tout en conservant la faculté de diviser le sol arable, participent des propriétés des limons, non-seulement quant aux conditions de transport, mais quant à l'alimentation des végétaux : ce sont les sables micacés. Toutes les fois qu'on pourra les faire entrer pour une proportion notable dans la préparation de l'alluvion, il sera possible d'aborder le problème dans toute sa généralité, de constituer en bloc une terre végétale.

sur les terrains crayeux d'une part, sur les sols exclusivement argileux de l'autre. L'alluvion ne devra apporter que la matière qui fait défaut, le complément du sol : l'argile dans le premier cas, le calcaire dans le second. Quant à l'élément sablonneux, il sera constitué par les débris de mica-schistes lorsqu'on le pourra, et, à défaut de cette substance, par les engrais végétaux.

CHAPITRE XIII

THÉORIE DES ALLUVIONS ARTIFICIELLES.

LXXVII.

Nous arrivons enfin à la conclusion naturelle et logique de ce long exposé. Nous avons vu quelle était l'origine des terres végétales ; nous avons étudié les moyens d'améliorer sur place celles qui existent. Il nous reste à voir comment il serait possible d'en reproduire artificiellement d'excellentes, et de généraliser leur emploi, sinon sur toute la surface du globe, du moins sur un grand nombre de points qui en sont aujourd'hui dépourvus.

Rien n'est, en effet, moins fréquent qu'un sol présentant toutes les conditions physiques et chimiques d'une bonne terre végétale. Nous sommes habitués à entendre célébrer la fertilité proverbiale de notre pays ; elle n'est cependant que relative par rapport aux autres contrées qui l'avoisinent.

A côté de terres réellement riches et fécondes, se vendant de 8 à 10 000f l'hectare, il n'est pas rare d'en rencontrer qui ne valent pas 5f ; et entre ces deux termes extrêmes existent tous les intermédiaires possibles.

Les relevés officiels de la statistique générale de 1860 portent à 5 milliards de francs environ la valeur totale de nos produits agricoles. C'est à peu près ce que pourraient

donner en revenu brut 6 millions d'hectares de terres de première qualité. La surface totale de la France, non compris les derniers départements annexés, qui n'en ont pas relevé la richesse moyenne, était de 53 millions d'hectares en 1860. Sa production agricole totale ne dépasse guère celle que pourrait donner une superficie neuf fois moindre de terres exceptionnellement fertiles, analogues à celles que nous retrouvons éparses sur certains points de son territoire, dont elles ne représentent peut-être pas la centième partie.

Si, au lieu de prendre un terme de comparaison aussi exclusif, nous convenions de considérer seulement comme terres fertiles celles qui ont une valeur supérieure à une moyenne de 4 à 5 mille francs, l'examen d'une carte agronomique qui indiquerait par deux teintes différentes les sols au-dessus et au-dessous de cette moyenne, nous ferait embrasser d'un coup d'œil combien les premiers sont en infime minorité ; ils ne représenteraient pas le vingtième de la surface totale. Distribués en lanières étroites le long de nos vallées, disséminés en taches éparses sur quelques points privilégiés, ils paraîtraient presque aussi clairsemés dans l'ensemble que peuvent l'être les oasis cultivées sur l'immense étendue des déserts du Sahara.

LXXVIII.

Les bonnes terres végétales ne sont autre chose que des débris minéraux présentant dans leur mélange une proportion convenable d'éléments minéralogiques déterminés et complètement désagrégés. Nous avons cherché à établir que la désagrégation des matières minérales, le mélange de leurs débris, étaient surtout le résultat de l'action méca-

nique des eaux courantes. Bonnes ou médiocres, presque toutes nos terres végétales ont en effet cette commune origine ; comme résultat d'un transport, nous avons vu (VIII) qu'on pouvait les définir: un mélange en proportion convenable d'une alluvion limoneuse riche en marnes calcaires et en argile, et d'une alluvion sablonneuse ou matière inerte qui est habituellement le sable quartzeux.

Il est cependant des agents physiques autres que les cours d'eau, qui ont constitué de vastes étendues de terres végétales sur divers points du globe : ce sont les glaciers, dont nous avons à peine indiqué le rôle géologique, bien que, à certaines époques [1], ils paraissaient avoir prolongé leur action sur des surfaces d'où ils ont aujourd'hui complètement disparu.

Les amas de glaces produits par la fusion et la congélation alternatives des neiges permanentes dans les régions élevées, sont animés d'un mouvement très-lent, mais continu. Ils s'écoulent comme des courants solides, suivant les pentes et épousant toutes les sinuosités des vallées dans lesquelles ils sont renfermés, jusqu'à ce qu'ils atteignent un point bas, dont la température moyenne soit assez élevée pour fondre à mesure la glace apportée.

Comme les courants liquides, les glaciers opèrent des phénomènes d'érosion et de dépôt. Ils déchirent et entrai-

[1] La cause originelle du déplacement des glaciers, de l'extension anormale qu'ils paraissent avoir prise tantôt sur un point, tantôt sur un autre, est tout aussi incertaine que celle des courants diluviens. Les deux phénomènes, bien que l'un ait été instantané et de courte durée, l'autre permanent et continu, ont été déterminés sans doute par le retour périodique ou accidentel d'un même fait géologique. Quel a été ce fait? La science l'ignore, et en est à cet égard réduite à des conjectures et à des hypothèses plus ou moins vraisemblables que nous avons déjà énumérées ailleurs, qu'il nous paraît inutile de reproduire ici.

nent par fragments les parois et le plafond de la cuvette des hautes vallées qu'ils parcourent, broient plus ou moins complètement ces débris minéraux, et les rejettent ensuite en dehors de leur lit.

Les dépôts glaciaires portent le nom de *moraines*; moraines latérales lorsqu'ils sont distribués en longues bandes sur les flancs des coteaux encaissant les glaciers; moraines frontales lorsqu'ils constituent un large barrage à son extrémité inférieure.

Malgré quelques analogies apparentes, nous n'essaierons pas, dans un but de vaine généralisation, d'assimiler les deux modes de transport opérés par les glaciers solides et les courants liquides. Des différences considérables distinguent les deux formations, au point de vue des conditions de dépôt, comme à celui de la composition minéralogique et de la valeur agronomique des terrains produits.

La lévigation, qui joue un si grand rôle dans la préparation des matières minérales charriées par les courants liquides, est sans action sur les déjections des glaciers.

Les dépôts de cette dernière nature s'opèrent en masses confuses, comprenant indistinctement les débris minéraux entraînés à tous les états de désagrégation. La gangue boueuse est mélangée d'éclats de roche de toute forme, de toute dimension, — arrondis parfois comme les galets diluviens; le plus souvent, au contraire, conservant des faces de cassure planes, caractérisées par des stries longitudinales provenant des frottements subis dans le parcours.

Les boues glaciaires résultant d'une trituration complète, comprennent à la fois le sable et le limon produits par la désagrégation d'une seule roche; car les débris de deux éboulements distincts, voyageant côte à côte, ont rarement occasion de se mêler à la surface des glaciers.

Les terres végétales d'origine glaciaire sont dès-lors en général supérieures, comme constitution physique, aux alluvions charriées par les courants, dans lesquelles les deux éléments de transport, le sable et le limon, tendent à se séparer; mais cet avantage est loin de racheter leur défaut de variété minérale.

Quelque tranchés que soient les caractères généraux qui séparent, en principe, les terrains glaciaires des terrains diluviens, il est parfois bien difficile, en fait, de les distinguer nettement les uns des autres.

Il existe d'ailleurs entre eux un point de rapprochement qui nous permettra de les confondre parfois dans la suite de ces études. Ces divers dépôts se sont accumulés, en effet, en obéissant tous également aux lois de la pesanteur, en suivant des plans inclinés continus à partir des chaînes de montagnes qui leur ont donné naissance. Ils sont le trait d'union naturel qui relie les faîtes culminants et les gorges supérieures de ces montagnes aux formations sédimentaires étagées à leurs pieds.

Les terrains sédimentaires occupent en France plus de la moitié du sol[1]. Dus à l'action de phénomènes qui se sont produits avec une énorme intensité, ils présentent en général, sur de vastes espaces, une grande uniformité de composition. Dépourvus de variété minérale, incomplètement formés au point de vue physique, ils ont en outre subi, par l'effet du temps et de la pression, une agrégation nouvelle qui les a transformés en terrains géologiques constituant des sols végétaux arides ou médiocres. Ce sont parfois des cailloux amoncelés, résidus d'une trituration imparfaite,

[1] **Dufresnoy et Élie de Beaumont;** ***Description de la carte géologique de France.***

dans les plaines de la Crau, du Comtat d'Avignon ou du Roussillon; parfois des sables siliceux sans mélange, comme en Sologne et dans les Landes; parfois, au contraire, des limons argileux également dépourvus de tout autre élément minéral, comme sur les plateaux de la Gascogne et du Béarn; presque partout, enfin, des sols agrégés et durcis, à la surface desquels le travail de l'agriculture n'a pu qu'à grand'peine obtenir une couche meuble d'une insuffisante épaisseur.

L'infériorité de ces terrains si répandus à la surface du globe n'est pas due seulement à leur agrégation physique ou à leur défaut de variété minéralogique. Cette dernière cause d'appauvrissement a été augmentée encore, — soit par l'effet des eaux pluviales qui, agissant pendant des siècles, ont délavé et dénudé la surface, ou dissous les principes solubles tels que la chaux et les sels alcalins, — soit par l'action épuisante de la culture, qui a également enlevé à la superficie une partie des éléments minéraux nécessaires à la production végétale. Et cette dernière action a été d'autant plus grande que les terrains diluviens n'ont pas, comme les terres d'alluvions, l'avantage de recevoir nécessairement de nouvelles couches de limons rendant au sol ce qu'il a perdu. Ce n'est que par des moyens artificiels, par l'emploi de fumures, d'amendements minéraux apportés à grands frais, que l'homme a pu, jusqu'à ce jour, lutter avec plus ou moins de succès contre leur dépérissement continu.

LXXIX.

Les alluvions dues à l'action lente et prolongée de nos cours d'eau actuels constituent, sauf de très-rares exceptions, nos meilleures terres végétales; elles en forment le type es-

sentiel qui sert toujours de terme de comparaison. Mais on commettrait une grave erreur en admettant, d'après l'opinion vulgaire, qu'elles sont dues exclusivement à l'entraînement d'un sol végétal déjà formé dans les montagnes et enlevé par les eaux. Il suffit d'avoir examiné de près l'action des torrents, pour reconnaître qu'ils agissent moins encore par dénudation que par érosion. S'ils emportent parfois la mince couche de terre arable qui peut exister sur les flancs des montagnes, ils tirent une bien plus grande quantité de leurs déjections de la masse de la montagne elle-même : éclats de roches, amas de sables, fragments de couches sédimentaires, débris minéralogiques de toute nature, isolément improductifs, qui, roulés, complètement broyés, mélangés dans le transport, acquièrent des qualités fertilisantes d'autant plus grandes que l'opération mécanique a été plus entière, le mélange plus parfait.

Si supérieures que soient en général les terres des vallées, surtout celles qui, restant submersibles, sont incessamment enrichies d'amendements nouveaux par les crues, il en est pourtant un grand nombre qui sont loin d'offrir tout le degré de fertilité désirable. Une observation quelque peu attentive fait aisément reconnaitre que cette infériorité est due, soit à une incomplète trituration du sol, qui le rend ou trop perméable ou trop peu consistant, soit au manque de quelque élément minéral, de quelque amendement utile qui ne se trouvait pas dans les terrains désagrégés par le courant, ou qui par le fait, soit de leur densité plus ou moins grande, soit d'un phénomène de lévigation, a été inégalement réparti sur la masse totale. Parfois c'est un des éléments les plus indispensables à la nutrition des plantes, la chaux ou l'argile, qui manque en entier ; parfois c'est la matière inerte, le quartz, s'oppo-

sant aux effets de retrait ou de dilatation, qui fait complètement défaut.

Le plus souvent, pour cette dernière cause, les alluvions les plus riches par leur composition minérale, éprouvent, au moment de leur dépôt, ou peu après, un effet d'agrégation physique qui les ramène à l'état de terrains géologiques impropres à toute végétation.

Tel est, par exemple, le fait des alluvions limoneuses de la Durance. Répandues sur un sol sablonnenx et mélangées avec lui, elles produisent instantanément des terres très-fertiles. Laissées à elles-mêmes, elles se tassent et se transforment par la dessiccation en couches dures et imperméables, analogues quant à leur aspect et à leurs propriétés physiques aux terrains stratifiés d'une formation géologique antérieure à la nôtre. Cet effet de durcissement des alluvions trop limoneuses n'a en général rien de durable, il suffit du contact de l'air et surtout de l'humidité pour détruire leur agrégation éphémère; mais elle se reproduit toujours par l'effet des mêmes influences, si, par un travail continu et l'emploi d'amendements sablonneux ou de matières organiques jouant le même rôle, on n'en rend définitivement le retour impossible.

A part ces défauts, inhérents à leur constitution physique ou minéralogique, qui en diminue parfois la valeur, les terres d'alluvion sont soumises à une cause permanente de dépréciation d'autant plus redoutable que par leur origine elles se trouvent naturellement plus fertiles. Elles sont sans cesse exposées à être emportées par les inondations, à voir leurs récoltes dévastées par des submersions intempestives.

Malgré ces éventualités fâcheuses, inséparables de leur position sur le bord des rivières, les alluvions n'en consti-

tuent pas moins notre principale richesse agricole. On conçoit dès-lors de quelle importance il doit être, non-seulement de les défendre contre les crues, de les préserver des chances de destruction auxquelles elles sont exposées, mais encore d'en accroître la surface en recueillant et fixant sur des emplacements convenables une partie des limons que les fleuves charrient sans cesse à la mer.

Les alluvions du Rhône, avons-nous dit, représentent un cube de 17 millions de mètres de terres végétales excellentes, qui créent chaque année, sur une profondeur de 100^m, 15 à 20 hectares au plus de marécages insalubres et sans valeur. De quel prix ne seraient pas ces richesses perdues, si l'on pouvait, les détournant de leur cours actuel, parvenir à les répandre en couche uniforme de 0^m,05 à 0^m,10 d'épaisseur, sur les sables stériles des Landes ou de la Sologne? si l'on pouvait ainsi substituer annuellement 20 000 hectares d'un sol éminemment fécond à une égale surface de désert improductif? La majeure partie des alluvions produites par nos fleuves se perdent, et sont à tout jamais destinées à se perdre, sans profit pour l'humanité; mais la déperdition est bien plus grande encore sous le rapport de la force mécanique que la nature emploie à les produire.

Envisageant un cours d'eau à ce point de vue d'un agent employé à désagréger des terrains stériles, à convertir en sol fertile des formations géologiques sans valeur, on ne peut s'empêcher de reconnaître combien le résultat obtenu est minime en comparaison de ce qu'il pourrait être.

Les torrents, encaissés le plus souvent dans des roches abruptes, ayant, à la traversée des terrains plus meubles, pavé leurs lits de blocs ou de galets enchevêtrés dans le sens de la plus grande résistance, usent leur force vive dans

un travail sans résultat. Si un centième au plus des alluvions charriées par nos rivières est utilisé pour les besoins de l'agriculture, on peut dire, avec tout autant de raison, que la même proportion existe entre la masse totale des alluvions produites et celle qu'on pourrait obtenir par un meilleur aménagement donné à cette force de destruction et de transport.

Pour peu qu'on veuille réfléchir à la minime importance relative d'un résultat qui a cependant une grande valeur absolue, n'est-on pas naturellement amené à se demander s'il ne serait pas possible d'utiliser une plus forte proportion de cette force mécanique immense que la nature met en œuvre sous nos yeux? Quels résultats ne devrait-on pas attendre *à priori* de la construction d'un torrent artificiel qu'on ferait agir sur des terres meubles et affouillables, de manière à produire et à répandre en couches minces, sur une surface convenablement choisie, la plus grande quantité possible d'alluvions végétales?

Poser ce problème, c'est en quelque sorte le résoudre. Nous le pensions du moins, lorsque, il y a bientôt quatre ans, nous appelâmes pour la première fois l'attention publique sur cette question. Nous nous étonnions alors que personne avant nous n'eût eu l'idée que nous émettions. A voir le peu de chemin que cette idée a fait depuis lors, nous avons lieu de reconnaître que la conception n'en était peut-être pas aussi simple, aussi évidente que nous l'avions pensé d'abord. Ce résultat n'a pourtant rien qui doive nous surprendre. Il n'est vérité si palpable, si manifeste, qui ne soit à ses débuts destinée à être d'autant plus repoussée et méconnue, que les avantages qu'elle promet sont plus grands. L'opinion vulgaire, instinctivement, sans s'en rendre compte, mesure les difficultés d'une entreprise à l'impor-

tance des résultats qu'elle doit produire ; et rien n'est plus commun, dans l'histoire des découvertes humaines, que de voir *à priori* et sans examen taxer d'utopie une idée nouvelle, par cela même qu'elle doit réaliser une grande amélioration sociale avec de faibles efforts.

Avant d'arriver à une réalisation complète, notre entreprise aura, sans doute, encore bien des hésitations à combattre, bien des obstacles à surmonter. Nous n'en avons pas moins foi entière dans le succès. Nous le poursuivrons sans relâche, fort d'une inébranlable conviction qu'ont affermie en nous de nombreuses adhésions dans la presse et dans le monde scientifiques. Nous sentons tout le prix des précieux encouragements qui nous ont été donnés dans cette circonstance, et nous sommes heureux de pouvoir exprimer ici notre profonde reconnaissance à tous ceux qui ont prêté l'appui et l'autorité de leur nom à la propagation de l'œuvre utile que nous avons entreprise.

Tous les développements qui précèdent, toutes les conclusions de nos études sur l'action et le rôle des cours d'eau à la surface du globe, ne sont en quelque sorte que le prélude, le point de départ de la théorie nouvelle que nous allons exposer.

Nous avons vu ce qu'on pouvait obtenir par une amélioration rationnelle des alluvions naturelles actuellement existantes. Dans la seconde partie de cet ouvrage, nous démontrerons mieux encore comment l'application de nos procédés de dessalement et de culture aux marais de la Camargue, permettrait de transformer en terres fertiles suffisantes pour nourrir la population de deux départements, un sol qui jusqu'à ce jour n'a été qu'un foyer de miasmes pestilentiels, décimant une population rare et appauvrie.

Ces résultats, si grands qu'ils puissent être, ne seraient rien en comparaison de ceux qu'on doit attendre d'une méthode appelée à généraliser la fécondité du sol, à faire participer aux bienfaits des alluvions les vastes et stériles plateaux qui séparent les vallées de nos rivières, au même titre et au même degré que les étroites lanières de terres fertiles qui longent leurs lits actuels.

LXXX.

Notre but est de constituer une terre végétale éminemment fertile, sur tous les points où elle fait défaut. Nos moyens consisteront à créer un torrent artificiel, réalisant sur une plus petite échelle, quant à la masse des eaux en mouvement, mais avec une plus grande intensité et régularité d'action, le phénomène qui produit les alluvions naturelles.

La terre végétale, avons-nous dit, se compose d'une matière inerte qui ne joue qu'un rôle purement physique, telle que le sable quartzeux, et d'un mélange en proportions convenables de deux éléments minéraux essentiels, l'argile et le calcaire, à l'état de limons complètement désagrégés.

Toutes les fois que la matière inerte se trouvera sur place, que l'on aura affaire à un sol déjà meuble, nous devrons en tenir compte. L'alluvion artificielle ne sera donc pas le sol végétal lui-même, mais le complément de ce sol, l'amendement nécessaire pour le constituer par son mélange minéral avec le terrain naturel. Sur le sable des Landes et de la Sologne, il nous suffira d'apporter un limon argilo-marneux ; sur la craie de la Champagne, un limon argileux et peut-être une certaine proportion de sable quartzeux ; et ainsi de même partout ailleurs. La terre végétale fabriquée

de toutes pièces ne serait rigoureusement nécessaire que sur les sols à surface de roche résistante, inattaquables par l'outil du travailleur.

Un torrent artificiel devra reproduire les divisions principales du torrent naturel (XXII); comme lui, il devra présenter : un bassin récepteur ou centre de désagrégation ; un goulet ou chenal régulier servant à la fois à la trituration, au mélange et au transport des matières minérales ; un cône de déjection, enfin, formant la surface entière sur laquelle les limons fécondants et convenablement élaborés devront être distribués et répandus.

Le point de départ de toute création d'un torrent artificiel sera l'approvisionnement de la masse d'eau nécessaire pour alimenter ce torrent et produire le quadruple travail de désagrégation, de trituration, de transport et de répandage des limons auquel il devra suffire. Il est bien évident, à cet égard, qu'on ne pourra s'établir que dans certaines régions, sur les gradins inférieurs des hautes chaînes de montagnes, dont les cimes saillantes, les flancs escarpés, sont surtout propres, comme nous l'avons vu (XII), à déterminer la précipitation des eaux pluviales, à produire ces averses répétées qui ont pour résultat d'entretenir un débit relativement si considérable dans le lit des torrents.

Il n'est pas d'ailleurs nécessaire que ce débit soit uniforme et régulier. Nous n'avons nul besoin d'une dérivation fonctionnant, soit d'une manière permanente, comme l'exige le service des usines, soit pendant une saison déterminée, comme le demande l'arrosage.

L'opération que nous avons en vue peut se faire en tout temps, supporter des chômages plus ou moins longs, sans autre inconvénient que celui d'un ralentissement dans le travail projeté. On trouvera toujours, sans nuire à aucun

intérêt existant, les quantités d'eau nécessaires, si l'on veut se borner à les dériver seulement dans les temps de surabondance. Le débit d'un canal d'arrosage doit se calculer sur les moindres ressources de la saison d'étiage; les nôtres pourront s'établir sur le produit moyen de la saison pluvieuse. C'est assez dire combien il sera relativement facile d'alimenter des dérivations suffisantes, qui, prises au cœur des montagnes, seront conduites avec plus ou moins de frais sur les gradins des formations sédimentaires et diluviennes, en général étagées aux pieds de ces montagnes.

On ne saurait, d'une manière générale, donner de règle précise sur le choix des terrains qui devront servir d'éléments minéraux aux nouvelles terres végétales. Des circonstances locales, la nature particulière du sol à amender, décideront surtout à cet égard.

Cette question préliminaire résolue sur les lieux, la première opération devra consister à amener la désagrégation des matières minérales choisies. Ce travail peut se faire par des procédés différents, suivant les circonstances. Il est cependant aisé de comprendre que s'il s'agit surtout, et ce sera le cas le plus habituel, de masses déjà friables, à demimeubles, il sera très-facile d'amener une première dislocation par des éboulements convenablement dirigés.

Personne n'ignore comment s'écroulent d'eux-mêmes les coteaux argileux dont un déblai a légèrement entamé le pied. Si l'on a le plus souvent beaucoup de peine à arrêter ce premier mouvement de désorganisation, on conçoit combien, au contraire, on aura de facilités pour l'accélérer.

Les derniers renseignements donnés sur l'exploitation des gisements aurifères de la Californie nous ont d'ailleurs fourni des indications aussi précises que concluantes sur les divers modes employés pour un travail analogue de dis-

location des terrains, et notamment sur la méthode d'abattage au jet d'eau [1]. Ce procédé, aussi simple qu'expéditif, peut s'appliquer dans tous les cas à de grandes masses

[1] Les procédés récemment mis en pratique par les mineurs américains ne sont que la reproduction de procédés analogues employés par les Romains pour l'exploitation des mines d'or de l'Espagne et de la Gaule méridionale. Les Romains ne connaissaient ni l'art de concentrer et de diriger la force mécanique des chutes d'eau dans des conduites fermées, ni l'usage du mercure pour retenir les parcelles d'or charriées par les eaux de lavage. Ils y suppléaient par des moyens moins perfectionnés, qui atteignaient le même but.

On a longtemps considéré comme des fables les détails donnés à ce sujet par les auteurs contemporains; rien n'était cependant plus exact que leurs descriptions.

Les mineurs de la Californie n'avaient certainement pas lu les œuvres de Pline le naturaliste. Il est intéressant de voir comment ils ont reproduit les méthodes industrielles usitées de son temps, et probablement tombées en désuétude depuis plus de quinze siècles.

« L'or se trouve dans le monde romain...... Il est exploité par trois procédés différents : 1° On recueille les paillettes aux embranchements des fleuves. Le Tage en Espagne, le Pô en Italie, l'Hèbre en Thrace, le Pactole en Asie, le Gange dans l'Inde, fournissent de l'or; 2° On creuse des puits jusqu'à la rencontre des filons..........; 3° On met à profit les éboulements des montagnes..................................

» La troisième méthode d'extraction laisse loin derrière elle les tentatives des géants. On creuse les monts, on prolonge à d'énormes distances des galeries qu'éclaire la lueur des torches. Les veilles n'ont d'autre mesure que la clarté de ces astres artificiels. Les ouvriers restent des mois entiers sous la terre, sans voir le jour. Ces galeries portent le nom technique d'*arrugies*........ On laisse subsister de nombreux piliers pour soutenir la montagne.

» Les mineurs rencontrent parfois des barrières de silex. Ils s'en débarrassent à l'aide du feu et du vinaigre; mais plus habituellement, comme la fumée et le feu pourraient les étouffer, ils brisent la roche en fragments d'environ 150 livres qu'ils enlèvent et rejettent au dehors, à force d'épaules, en se les passant de l'un à l'autre. Lorsque le silex a trop de puissance, ils le contournent par une galerie.

» Le silex n'est pas l'obstacle le plus difficile à surmonter dans les

affouillables, tant pour les argiles et les marnes que pour les amas de cailloux roulés, de débris diluviens, amoncelés en masses puissantes sur les flancs de nos montagnes, comme sur ceux des Cordillères.

mines. On y rencontre un sol argileux mêlé de graviers, qu'on appelle terre blanche. L'extraire est presque impossible. On l'attaque avec des coins de fer et à coups de marteau......

» L'ouvrage achevé, on détruit les piliers des voûtes en commençant par les derniers. La chute prochaine de la montagne s'annonce à l'extérieur par un tremblement visible pour les ouvriers placés en surveillance sur la cime. Ils crient ou frappent aussitôt pour rappeler les travailleurs, et s'enfuient eux-mêmes précipitamment. La montagne brisée s'écroule; un vent puissant sort de ses flancs.

» Les mineurs victorieux contemplent cette catastrophe de la nature. Cependant ils n'ont pas encore obtenu l'or; ils ont creusé sans être certains d'en découvrir. Pour les décider à tant de frais, à tant de dangers, il a suffi de l'espérance.

» Un autre travail, plus dispendieux peut-être, consiste à amener sur le flanc de la montagne en ruine, des fleuves qui coulent à 100 milles de distance, pour laver les éboulements. Ces dérivations s'appellent *corruges*, probablement du mot *corrivatio*. Voici comment on les établit:

» Il faut en premier lieu s'assurer d'une chute, afin que l'eau coure avec plus de force sur les matières qu'elle doit laver. C'est donc des lieux les plus élevés qu'on fait partir la dérivation. S'il se trouve une vallée ou une coupure sur la ligne qu'elle doit suivre, on rétablit l'uniformité de la pente à l'aide d'aqueducs; ailleurs, on taille des rochers inaccessibles. Des ouvriers suspendus à des cordes prennent le niveau, enfoncent dans la roche de grosses poutres qui doivent supporter le chenal......

» Le corruge débouche sur un point culminant. On y creuse un réservoir de 200 pieds de long sur 10 de profondeur, dans la paroi duquel sont ménagées cinq ouvertures de 3 pieds en carré, fermées avec des bondes. Le réservoir rempli, il suffit d'ouvrir les cinq bondes pour que l'eau s'échappe avec tant de violence qu'elle entraîne des quartiers de roc. En plaine commence un autre travail. Les eaux s'écoulent dans des conduites qu'on appelle *agranges*; de distance en distance, la pente est ralentie par un lit d'ulex, arbuste assez semblable au romarin, épineux et propre à retenir l'or. Les parois de l'agrange

Des dérivations abondantes sont amenées à des niveaux aussi élevés que possible. Les eaux, concentrées dans des conduites forcées sous des pressions de 30 à 40^{m}, sont dirigées en jets puissants contre le pied des terrains qu'on veut soumettre au lavage. Les coteaux, affouillés par la base, s'écroulent verticalement par pans énormes, et leurs débris, facilement désagrégés, liquéfiés par les eaux, sont entraînés avec elles dans de longs canaux de bois, appelés *sluices*, pourvus à leur plafond de poches remplies de mercure, métal qui retient au passage les parcelles aurifères, tandis que la masse des déblais est rejetée dans les rivières les plus voisines, où elle s'accumule, en attendant de pouvoir être entraînée par les crues d'hiver. La puissance de ce procédé de désagrégation est telle, que M. l'ingénieur des mines Laur, qui en a décrit les effets, cite comme exemple courant des résultats obtenus, un cube de 3 000^{m} de déblais lavé en dix heures par quatre ouvriers avec un volume d'eau ne dépassant pas 500 litres à la seconde ; ce qui représente, pour les eaux de lavage entraînées par le sluice, une richesse en détritus minéraux comptée au volume de plus de 12 p. °/₀.

sont revêtues de planches, et les canaux qu'elle forme passent au-dessus des précipices pour se rendre à la mer. Les sédiments ainsi produits ont déjà reculé les limites de l'Espagne.

» C'est aussi dans de pareils canaux qu'on lave l'or si péniblement extrait des puits..... On brûle l'ulex retiré des eaux, et on lave les résidus sur un lit de gazon où l'or se dépose. Selon des auteurs, l'Asturie, la Gallicie et la Lusitanie donnent ainsi annuellement 20 000 livres pesant d'or. L'Asturie est la plus féconde des trois contrées ; nulle autre sur le globe ne présente une abondance si marquée et si continue.

» Un antique sénatus-consulte a prescrit aux mineurs d'épargner l'Italie. Sans cette loi, nul lieu dans le monde ne produirait autant de richesses métalliques. Il existe en outre un édit censorial qui interdit aux publicains d'employer plus de 3 000 hommes aux mines d'Irtimule dans le district de Verceil. » (Pline, liv. XXXIII.)

Cette méthode expéditive permet de traiter avec d'énormes bénéfices des minerais ne contenant pas plus de 1f,25 d'or par mètre cube. Par ce procédé, ou par tout autre, il sera toujours facile de désagréger des masses minérales considérables, pour leur demander, non plus seulement un métal précieux auquel sa trop grande abondance finirait par enlever tout son prix, mais d'inépuisables éléments de fertilité et de production agricole.

LXXXI.

Les matières minérales ainsi disloquées, désagrégées, c'est encore à l'action mécanique de l'eau que nous aurons recours pour les triturer, les broyer, les amener à l'état de division et de mélange nécessaires à la production de bonnes terres végétales. A cet effet, tous ces débris, mêlés avec les eaux qui les auront entraînés, seront reçus dans un canal broyeur à forte pente, muraillé sur ses parois, pavé en matériaux résistants à son plafond.

Lancés à grande vitesse dans un pareil canal, les débris des roches les plus dures, roulant les uns sur les autres, se heurtant contre les aspérités du coursier, seraient, sauf les rognons de quartz pur, promptement broyés et réduits en boue impalpable, pourvu que la vitesse du courant fût suffisante pour les entraîner.

A l'appui de cette opinion théorique, nous avions, dans notre première brochure, cité des observations personnelles que nous avons rappelées plus haut (XXIV), et qui ne nous paraissent devoir laisser subsister aucun doute sur le résultat. En principe, nous maintenons qu'il n'est pas de matière minérale, sauf le quartz, qui, par l'effet d'un trans-

port de 25 à 30 kilomètres au plus, ne se transforme en limon fluide.

Amené à proposer une première application de notre système à une contrée dont nous n'avions pu, dans une étude sommaire, étudier toutes les ressources géologiques, nous avions indiqué comme pis-aller la possibilité d'emprunter l'élément calcaire du nouveau sol des Landes aux roches secondaires des Pyrénées, dont les débris auraient été broyés dans un coursier à grande pente, maçonné en cailloux quartzeux.

Cette partie de notre travail nous a surtout attiré des objections nombreuses, qui ne sont pas toutes également fondées, mais dont plusieurs sont très-sérieuses, nous n'hésitons pas à le reconnaitre.

En principe, tout fragment calcaire entraîné sur une longueur suffisante serait broyé; pas de doute possible à cet égard. Mais le fait pratique de l'entraînement serait plus contestable et pourrait donner lieu à des difficultés dont nous n'avions pas suffisamment tenu compte dans un premier aperçu.

Éclairé sur ce point par les sages et bienveillants avis du Conseil général des Ponts-et-Chaussées, nous avons procédé à une nouvelle exploration locale qui a eu les meilleurs résultats. Nous avons reconnu la possibilité de substituer aux roches dures, dans la fabrication du sol des Landes, les marnes affouillables, pouvant s'abattre au jet d'eau comme les argiles, devant comme elles se délayer et se désagréger avec la plus grande facilité.

L'objection qui nous avait été faite se trouve donc écartée pour ce cas particulier d'application. Il ne nous en parait pas moins utile d'étudier la question générale avec quelques nouveaux détails.

En thèse générale, la trituration des roches par les torrents est une chose possible, qui se réalise tous les jours sous nos yeux. Sans revenir sur l'interprétation des cas particuliers que nous avons cités (XXIV), on ne saurait contester que le régime moyen de nos rivières ne soit en général établi depuis longtemps. Elles reçoivent pour la plupart, à leur origine, dans les contrées montagneuses, où leurs affluents supérieurs se ramifient, des quantités considérables, sans cesse renouvelées, de fragments minéraux de toute sorte. En dehors de circonstances exceptionnelles, cependant, leur lit ne s'exhausse pas.

On doit donc retrouver, plus ou moins transformés dans les matières qu'elles charrient à l'aval, les débris reçus à l'amont. Or, à leur embouchure, nos fleuves ne contiennent plus que des limons en suspension et des sables de fond exclusivement quartzeux. Les éléments minéraux autres que le quartz ne pouvant se trouver dans les sables, il faut bien nécessairement admettre qu'ils ont contribué à constituer les limons.

Au point de vue théorique, cette trituration complète des éléments minéraux autres que le quartz est chose certaine. Il serait donc possible de la reproduire artificiellement ; ce ne saurait être là qu'une question de vitesse et de masse dans les eaux du torrent artificiel qu'on mettrait en jeu. Mais il est bien évident que ce n'est pas à ce point de vue qu'il faut se placer. Nous ne devons pas nous proposer de faire tout ce qui est possible, mais de tirer la plus grande somme de travail utile, la plus grande quantité d'alluvions fertilisantes, en d'autres termes, du volume d'eau limité dont nous aurons à nous servir. Au lieu de perdre inutilement une partie plus ou moins grande de la force disponible à broyer et désagréger des roches, il sera donc tou-

jours préférable de choisir, pour éléments constitutifs des nouvelles terres végétales, ceux qui auront déjà subi une première désagrégation ; de ne s'adresser dès-lors qu'aux matières à demi meubles, telles que les argiles et les marnes calcaires, qui, comme nous l'avons vu, constituent les deux éléments essentiels et à peu près suffisants de toute bonne terre végétale. C'est à cette condition seulement que l'opération que nous proposons sera réellement pratique.

Quelque choix qu'on puisse faire à cet égard entre les massifs minéraux dont on devra de préférence amener l'éboulement, il ne faudra jamais cependant se flatter de l'espoir d'en trouver qui se transformeront intégralement et sans perte de force en limons fluides, en parfait état de suspension. Les terres les plus meubles des terrains diluviens, auxquels on devra s'adresser le plus souvent, contiennent en général une proportion variable de sables, de fragments non broyés, dont la trituration pourrait être plus ou moins longue et difficile, serait même forcément incomplète pour les graviers quartzeux.

On aura tout avantage à se débarrasser au départ de ces matières, dont le broyage serait impossible, dont le transport, sinon dans la zone supérieure du canal broyeur, du moins dans la zone du canal d'amenée à moindre pente qui lui fera suite, serait une cause d'obstruction, et par suite un sérieux obstacle à l'écoulement des eaux.

Or, il sera en général facile de retenir ces matières inertes et encombrantes, de les cantonner à l'origine en des points où elles ne sauraient être nuisibles. Si la dérivation première a été faite à une hauteur suffisante dans les montagnes, on pourra déboucher sur les collines à désagréger, à un niveau tel qu'on puisse, — tout en se réservant une chute suffisante pour l'abattage au jet d'eau et le dé-

bourbage dans le canal broyeur,—se maintenir cependant, sur la ligne de faite, bien au-dessus du lit des torrents naturels qui existent à sa base. Il suffira dès-lors de ménager dans le plafond du canal broyeur, vers son extrémité d'aval, un petit nombre de vannes de fond, convenablement disposées pour évacuer sur les flancs de la colline de faite, ou dans les ravins qui l'avoisinent, la totalité des matières qui, à raison de leur volume ou de leur densité, roulent au fond du courant sans être maintenues en suspension.

On perdra sans doute, par ce débourbage, une petite partie des eaux motrices ; mais, purgées des matières dont la trituration complète ou le transport pourraient exiger une perte de force inutile, celles qui seront conservées dans le canal ne contiendront plus que les limons fluides, qui sont précisément ceux dont la valeur agronomique est la plus grande. En cet état, une pente et une vitesse relativement faibles seront suffisantes pour maintenir les troubles en suspension, jusqu'au lieu où devra s'en opérer le répandage.

LXXXII.

A partir des vannes de fond, destinées, si nous pouvons nous servir de cette expression, à épurer les limons dégagés dans le canal broyeur, les eaux bourbeuses seront conduites au lieu d'emploi par une rigole spéciale dont le tracé sera subordonné aux conditions locales.

La quantité de matière transportée par un volume d'eau déterminé devant dépendre de la vitesse, il sera essentiel de ménager avec beaucoup de soin la pente totale dont on pourra disposer, pour maintenir cette vitesse sinon constante, du moins uniformément décroissante suivant une certaine loi. Le profil en long du canal devra en général

présenter une courbe concave, analogue à celle qu'on retrouve dans les conditions normales sur les courants naturels, dont l'inclinaison va en diminuant de la source à l'embouchure.

Nous ne saurions avoir la prétention de déduire du calcul pour le véritable profil du canal, des règles et des formules précises, qui devraient être notablement modifiées par des observations empiriques. On conçoit cependant qu'une molécule en suspension dans l'eau peut être considérée comme en équilibre sous l'action de deux forces, dont l'une, la pesanteur, qui tend à en amener la précipitation, est proportionnelle au volume de la molécule ou au cube de son rayon, soit $F = K r^3$; dont l'autre, qui maintient la molécule en suspension, dépend de la force vive du courant agissant sur la surface de la molécule, est dès-lors proportionnelle au carré du rayon en même temps qu'à celui de la vitesse, $F' = K r^2 v^2$.

Toutes choses égales d'ailleurs, on peut donc admettre que la force vive d'entrainement peut décroitre comme le rayon de la molécule $\frac{F}{F'} = C \frac{r}{v^2}$

La vitesse nécessaire pour maintenir une même quantité de limons en suspension sera dès-lors d'autant moindre que les particules limoneuses auront été reduites à de plus faibles dimensions par le transport, seront devenues plus fluides.

Le profil en long pourra donc aller en s'aplatissant suivant une certaine loi. Cette dégradation dans la pente sera naturellement obtenue, — et cela probablement dans les conditions normales les plus avantageuses, — toutes les fois que la ligne de pente suivie par le canal de transport sera, comme dans le projet de fertilisation des Landes, un

fragment intact d'un épanchement diluvien, dont on n'aura qu'à rétablir l'écoulement primitif interrompu.

L'axe du canal devra d'ailleurs être aussi rectiligne que possible, et le ralentissement dans les courbes racheté par un surcroît de pente longitudinale.

La section du canal devra être constante, ou du moins uniformément variée d'après la pente. Les parois en seront invariables et muraillées. Le profil type sera caculé de manière à donner le maximum de vitesse pour un débit et une pente donnés. Le calcul nous apprend que cette condition sera plus particulièrement remplie par un demi-cercle, qui dans la pratique pourra être remplacé par un trapèze de proportions déterminées.

Les parois du canal de débourbage devront être rugueuses, pavées en matériaux durs et siliceux. Dans le canal de transport, au contraire, on devra s'efforcer d'avoir un revêtement aussi lisse que faire se pourra, qui, suivant les matériaux dont on disposera plus facilement, devra se composer d'une mince maçonnerie de moellons, ou plus avantageusement encore d'un simple revêtement en béton.

Le canal sera autant que possible établi en ligne de pente entièrement en déblai. Les terres provenant de la fouille seront retroussées sur les berges, où elles formeront deux banquettes de service. En prévision des obstructions accidentelles qui pouraient se produire sur quelques points du canal, il sera de distance en distance ménagé dans ces banquettes de larges déversoirs de superficie, rejetant les eaux dans les affluents naturels du voisinage, de manière à éviter toute chance de submersion momentanée.

Les limons une fois conduits, par la pente naturelle des eaux, au point où devra s'en faire la répartition, le canal principal se divisera en canaux de deuxième et de troi-

sième ordre, tracés suivant les lignes de faîte des dernieres saillies du sol à féconder.

S'il s'agissait d'une simple irrigation, les sections et les pentes de ces canaux pourraient êtres réduites dans la proportion de la surfaee que chacun devrait embrasser. On ne pourrait agir tout à fait de même pour des eaux troubles, qui n'ont pas seulement besoin d'arriver au lieu d'emploi, mais doivent l'atteindre avec une vitesse suffisante pour ne pas laisser déposer les limons dont elles sont supposées chargées à saturation. On sera donc, suivant la pente relative des faîtes secondaires à desservir, amené à donner des dimensions relativement considérables aux canaux secondaires, qui ne fonctionneront pas tous ensemble, mais successivement, de manière à ce que le courant des eaux troubles conserve une impulsion suffisante en chacun d'eux. Cette condition de maintenir en tout point une vitesse déterminée, sera parfois difficile à remplir pour les rigoles de dernier ordre, destinées au répandage définitif des limons. Pour cette opération finale, il faudra nécessairement se contenter de rigoles de petite section, dans lesquelles il pourra se produire des dépôts exigeant un entretien et un curage continuels. Mais il est bien évident que ces curages, ces retroussements incessants feront partie du répandage lui-même, puisque les limons seront parvenus au lieu d'emploi. Ces dernières rigoles seront essentiellement mobiles, formées de chenaux en bois, ou de simples parois de planches qui seront déplacées parallèlement à elles-mêmes jusqu'à ce que la quantité voulue de limon ait été répartie sur chaque point. Ce répandage se fera, soit par le débordement ou l'envasement des rigoles, soit par l'ouverture de saignées convenablement dirigées à

24

travers les cônes boueux qui se produiront à l'issue de chaque chenal.

Réduite à ces derniers termes, l'opération ne sera plus qu'une question de pratique exigeant le concours d'ouvriers exercés, qui acquerront promptement l'habileté nécessaire pour répandre les limons en couches uniformes et d'épaisseur déterminée à la surface de tous les sols.

L'alluvion ainsi livrée à l'agriculture, le reste sera de son ressort ; nous aurons cependant occasion de revenir sur ces derniers détails.

LXXXIII.

Il serait sans doute impossible de préciser *à priori* d'une manière rigoureuse quelle sera la proportion relative des substances minérales utiles que pourront entraîner des canaux construits dans le système que nous venons d'exposer.

Dans son rapport sur les mines de Californie, M. Laur, avons-nous dit, cite des cas particuliers dans lesquels la quantité de matière désagrégée par un jet d'eau et entraînée par les eaux de lavage s'élevait jusqu'à 12 p. °/₀ du volume d'eau employée.

Opérant sur des masses plus grandes, avec des vitesses probablement supérieures au départ, nous pourrons très-certainement obtenir, comme désagrégation et transport dans le canal broyeur, une proportion analogue, avec d'autant plus de raison que nous aurons affaire à des terrains naturellement plus meubles et plus légers que les amas de cailloux roulés qui forment la masse principale des terrains attaqués par les mineurs américains.

Il sera toujours facile, en effet, de ne soumettre au débourbage que des terrains diluviens argilo-marneux, ne

contenant pas plus de 10 à 15 p. °/₀ de cailloux non broyés ou de sables quartzeux.

Nous avons vu comment on se débarrasserait de cet excédant de matières inertes. Quelle sera la proportion des limons que les eaux du canal d'amenée pourront définitivement entraîner à l'état de complète suspension? A cet égard, il serait en quelque sorte vrai de dire qu'il n'y aura d'autres bornes que celles qui résulteront des procédés mêmes de désagrégation.

Personne n'ignore combien est irrésistible la force d'entraînement des argiles détrempées qui glissent en boues fluides sur les talus les moins inclinés. Il en serait en quelque sorte de même pour nos limons argileux, qui s'écouleraient presque par le seul effet de la pesanteur.

Mais il n'est nullement nécessaire d'aller jusqu'à cette limite. Les matières entraînées ne seront pas seulement détrempées, mais délayées, tenues en suspension dans une masse d'eau dix à douze fois supérieure, en prenant pour base de nos évaluations le chiffre de 12 p. °/₀ donné par M. Laur, et admettant un déchet d'un quart environ pour les débris sablonneux cantonnés à l'origine.

L'entraînement des limons après le débourbage produira sans doute un ralentissement notable dans la vitesse normale du courant, telle qu'elle serait déduite de la pente et de la section du canal. Des expériences directes pourraient seules permettre de déterminer dans chaque cas les corrections qu'il faudrait faire subir aux formules usuelles d'hydraulique, qui ont été établies empiriquement pour l'écoulement des eaux claires, et non pour celui d'eaux chargées d'une proportion considérable de troubles.

A chaque vitesse théorique résultant de la pente et de la section que les circonstances locales obligeront à donner

au canal sur son parcours principal, correspondra sans doute une proportion déterminée de limons dont l'entraînement sera possible, une puissance de saturation maximum qu'il sera nécessaire de ne pas dépasser, et que la pratique seule permettra de préciser.

Tout ce que l'on devra se proposer, tant que l'observation ne nous aura pas fourni de nouveaux éléments d'appréciation[1], sera de rendre ce maximum théorique, encore inconnu, aussi grand que possible, en aménageant en conséquence les conditions de pente et de tracé du canal. Sans crainte de nous tromper, nous croyons pouvoir affirmer que, par les dispositions proposées plus haut, on se rapprochera notablement de ce maximum, si on ne l'atteint. La puissance effective de saturation sera en tout cas incomparablement supérieure à celle d'un cours d'eau naturel, dans lequel la variation incessante des sections et des pentes produit des changements alternatifs de vitesse qui se traduisent infailliblement par une perte de force vive.

A défaut de chiffres précis sur le travail de transport que peut effectuer un courant régulier de vitesse donnée, nous pouvons provisoirement déduire un minimum certain d'observations positives faites sur un canal qui, depuis plusieurs années, fonctionne dans des conditions de régime et parfois de service analogues à celles que devront réaliser les tor-

[1] Nous avons récemment proposé à l'Administration supérieure le programme d'une série d'expériences destinées à établir sur des bases certaines les formules d'hydraulique applicables à l'écoulement des eaux troubles. Ces expériences pourraient être faites à très-peu de frais sur une rigole d'essai alimentée par les eaux de vidange du bassin de Ponserot, qui, par l'effet d'un appareil de chasse permanente dont nous avons conseillé l'emploi (CXXXIV), devront concentrer sous un petit volume la totalité des limons charriés par le canal dérivé de la Durance pour le service de la ville de Marseille.

rents artificiels. Nous voulons parler du canal qui conduit à Marseille les eaux de la Durance. Sa longueur est de 83 kilomètres, et son débit de 8 à 10 mètres cubes d'eau par seconde. Il est muraillé sur tout son parcours, et sa vitesse à peu près constante, déterminée par une pente de $0^m,33$ par kilomètre, varie de $0^m,70$ à 0^m80 par seconde.

Dans ces conditions, le canal de Marseille ne nécessite pas de curage ; aucun dépôt n'a jamais été constaté dans sa cuvette, et cependant il charrie habituellement des quantités considérables de limons dont le maximum, en temps de crue, constaté par des observations officielles, s'est élevé à 4,25 p. °/₀ du volume des eaux.

Nous ferons observer toutefois que ce chiffre, dont nous devons la communication à M. le Directeur du canal de Marseille, est rapporté à une unité spéciale. Les volumes de limon, dans les observations faites sur les eaux de la Durance, sont mesurés dans des éprouvettes graduées, après tassement naturel, sous une charge d'eau de $0^m,20$, maintenue pendant quinze jours. La dessiccation complète de ces limons, qui les transforme en un sédiment dur et compacte, amène une réduction de moitié dans les volumes observés.

La densité des limons ainsi durcis et stratifiés est sans doute très-supérieure à celle des terres végétales qui doivent nous servir de terme de comparaison. Sans tenir compte de cette circonstance, il n'en est pas moins vrai que le canal de la Durance, dans les grandes crues, réalise le fait d'une proportion de plus de 2 p. °/₀ d'alluvions limoneuses mesurées à l'état de dessiccation complète, transportées sur un parcours de 83 kilomètres, sans que le moindre dépôt se soit jamais produit dans la cuvette du canal.

Cette proportion de 2 p. °/₀ est le maximum de ce qui a

été observé, le maximum de ce que contiennent les eaux superficielles de la Durance après les grandes pluies; mais elle est certainement bien loin de représenter la véritable capacité de saturation du canal de Marseille. M. le Directeur des eaux de Marseille ne met pas en doute que cette capacité de saturation ne fût très-supérieure, que le canal ne pût transporter une beaucoup plus forte quantité de limons, si les eaux de la Durance les contenaient.

La puissance d'entraînement d'un courant ne dépend que de sa force vive; elle doit être, à peu de chose près, proportionnelle au carré de la vitesse des eaux ou à la pente, pour des cuvettes de même section.

Il n'y aurait donc aucune exagération de notre part à admettre qu'avec une pente de $1^m,50$ par kilomètre, correspondant à une vitesse plus que quadruple de celle du canal de la Durance, la proportion de limons entraînés par un canal d'égale section pût atteindre 8 à 10 p. °/₀ du volume des eaux.

La proportion d'alluvions artificielles serait-elle beaucoup moindre : descendrait-elle à 4 ou 5 p. °/₀, s'abaisserait-elle par impossible, dans l'état normal, au produit accidentel de la Durance, à 2 p. °/₀, que, par la continuité de leur travail, nos canaux artificiels donneraient des résultats incomparablement supérieurs à ceux des colmatages produits par les dérivations des cours d'eau réputés les plus riches en limons.

Avec un débit moyen de $1\,700^m$ à la seconde, le Rhône ne porte pas annuellement à la mer plus de 17 millions de mètres cubes de sables ou de limons. Un canal de colmatage établi pour un débit normal de 10^m empruntés à ce fleuve, ne fournirait pas plus de $50\,000^m$ d'alluvions. Avec un débit égal, un torrent artificiel fonctionnant pen-

dant six mois seulement, pourrait fabriquer et conduire 3 millions de mètres si la puissance d'entraînement n'était que de 2 p. °/₀; 15 millions si elle atteignait 10 p. °/₀, proportion dont tout nous fait espérer qu'on pourra se rapprocher le plus souvent. Le rapport serait de 60 à 1 dans la première hypothèse, très-certainement inférieure à la réalité; de 300 à 1 dans la seconde. Et cependant, il n'est pas de région avoisinant un cours d'eau naturellement limoneux, dans laquelle on n'ait cherché à en utiliser les troubles fertilisants.

Nous avons choisi pour exemple particulier d'une première application de notre système, la région des landes de Gascogne. Admettons que, près la ligne de faite qui rattache aux Pyrénées ce vaste et stérile plateau, il existât un fleuve analogue au Rhône, ou même à la Garonne, bien qu'elle soit trois fois moins riche en limons, dans des conditions de hauteur telles qu'on pût en dériver les eaux sans plus de difficulté que n'en présente le tracé de notre torrent artificiel. Qui pourrait mettre en doute que, dans ces circonstances, on n'eût depuis longtemps mis à profit ce Nil hypothétique, pour lui emprunter une source de richesse qui aurait à la longue transformé le sol ingrat des Landes? Ce que la nature n'a point réalisé pour cette région, nous verrons bientôt qu'il dépend uniquement de nous de le faire avec un effet utile qui, à volume égal des eaux employées, sera très-probablement 300 fois plus grand que celui qui résulterait d'une dérivation du Rhône opérée dans les parties les plus limoneuses de son cours.

LXXXIV.

Sans sortir encore du cadre des généralités, dans lequel nous nous sommes tenu jusqu'ici, il ne sera pas inutile de rappeler quelques avantages accessoires de l'opération, de traiter quelques questions de détail peu importantes, sur lesquelles nous désirons n'avoir plus à revenir.

Nous avons vu comment les alluvions produites par des torrents artificiels seraient conduites au lieu d'emploi, répandues en couches d'épaisseur uniforme à la surface des sols à féconder. Mais les méthodes que nous avons indiquées ne devraient pas être nécessairement bornées à des travaux exclusifs d'amélioration agricole.

Nos procédés pourraient être également employés avec certains avantages à diverses entreprises d'utilité publique nécessitant de grands mouvements de terre, au déblai comme au remblai.

L'abattage au jet d'eau, en même temps qu'il servirait à produire la désagrégation des masses minérales utilisables par l'agriculture, permettrait, s'il était convenablement dirigé, d'ouvrir par une sape puissante de vastes et profondes tranchées dans tous les terrains meubles que l'on aurait un avantage quelconque à déraser en tout ou en partie.

Un résultat analogue pourrait être obtenu pour les terrassements à faire en remblai. Les troubles en suspension, de même qu'ils seraient répandus en couches minces à la surface du sol, pourraient sur d'autres points servir à édifier des remblais d'une grande hauteur. Ils trouveraient leur emploi, soit dans la construction de digues longitudinales ou transversales à établir dans les vallées, soit même dans l'application spéciale qui nous occupe. Rien ne serait en effet

plus aisé, avec quelques soins, que de diriger les dépôts de manière à former une sorte de colline artificielle qui pourrait être nécessaire pour combler une coupure accidentelle de la ligne de faîte, sur laquelle devrait être dirigé un de nos canaux.

On ne saurait opposer comme une objection sérieuse à l'emploi des alluvions artificielles, la nécessité de sacrifier à l'amélioration des terres inférieures celles qui, dans les régions élevées, serviraient, soit de chantier de désagrégation des masses minérales, soit d'entrepôt pour les débris quartzeux qui devraient être cantonnés au départ.

Les terrains supérieurs, sur lesquels nous aurons à opérer, si puissantes que soient les couches utiles dont ils sont formés, sont en général dénudés et stériles à la surface. Leur dépréciation, si dépréciation il y avait, ne saurait être d'ailleurs que momentanée. Une fois dérasés jusqu'au niveau des canaux de colmatage, rien ne serait plus aisé que de leur restituer à la superficie une couche suffisante de limons fertiles, provenant des opérations suivantes, qui leur assureraient une valeur agronomique bien supérieure à celle qu'ils avaient naturellement.

L'obligation d'emmagasiner au fond des ravins supérieurs, en quelques points déterminés, une masse plus ou moins considérable de sables quartzeux, de cailloux inertes, dont il serait utile de débarrasser au départ les alluvions artificielles, ne saurait être considérée non plus comme une perte définitive et sans compensation. Non-seulement, sur ces amas convenablement nivelés, à mesure qu'ils auraient comblé les bas-fonds destinés à les recevoir, on pourrait répandre des alluvions fertiles; mais il serait encore parfois possible de tirer directement parti du dépôt de ces déjections, inutiles à l'agriculture.

Au nombre des questions de détail qui nous ont plus particulièrement attiré le reproche d'utopie, il en est peu qui aient paru plus audacieuses et plus risquées que notre hypothèse sur le rendement éventuel de l'or qu'on pourrait retirer des eaux de débourbage.

L'or, disions-nous, est beaucoup plus abondant qu'on ne le pense, à la surface du globe. Il est universellement répandu dans tous les terrains primitifs, et se retrouve encore dans les formations diluviennes incomplètement broyées, dont les argiles et les galets appartiennent en plus ou moins grande proportion aux terrains anciens.

Sur un grand nombre de nos rivières, dans le midi de la France surtout, l'existence de l'or est un fait depuis longtemps admis. Au siècle dernier, l'industrie des orpailleurs subsistait encore sur beaucoup d'entre elles. Les vallées qu'elles parcourent recèlent donc dans leurs flancs des parcelles du précieux métal, qui, pour ne pas être aussi abondantes que celles qu'on retrouve dans les formations analogues de la Californie, n'en ont pas moins, sur de très-grandes masses, une importance réelle. Le mètre cube de terre lavé, entraîné, broyé, ne devant pas, le plus souvent, ainsi qu'on le verra plus tard, coûter plus de quelques centimes, l'or contenu pouvant être recueilli à peu de frais, puisque le canal de débourbage constitue un *sluice américain* d'une grande puissance, on comprendra qu'il ne faudrait pas que cette proportion d'or existant dans les terrains désagrégés fût bien grande pour couvrir parfois à elle seule les frais de l'opération[1].

[1] Le nord de l'Espagne, le midi de la Gaule, ont été pendant plusieurs siècles, sous la domination romaine, le siége d'une exploitation aurifère dont l'importance relative ne le cédait en rien à celle qu'ont acquise de nos jours les placers de la Californie. La production annuelle s'é-

Mais si cette hypothèse de l'or, sur laquelle nous ne voudrions pas insister plus qu'il ne faut, paraît devoir être le plus souvent gratuite, il est certaines substances miné-

levait à 20 000 livres, représentant plus de 20 millions de notre monnaie.

Ces résultats étaient obtenus par des procédés très-inférieurs à ceux des mineurs américains. Les anciens ne savaient se servir, ni des conduites forcées pour diriger les jets d'eau, ni de l'affinité du mercure pour retenir au passage et séparer l'or entraîné. Ils opéraient à peu près au hasard sur tous les terrains diluviens ou glaciaires, convaincus par l'expérience qu'ils contenaient tous de l'or en quantité plus ou moins grande. Des motifs d'intérêt général avaient seuls déterminé l'administration romaine à reléguer aux confins de l'Empire les exploitations de cette nature qui, sans les mesures prohibitives prises contre elles, auraient été pratiquées dans la vallée du Pô et sur les versants des Alpes ou des Apennins aussi bien que sur ceux des Pyrénées. Le lavage des minerais aurifères, tel qu'il se faisait autrefois, tel qu'il se pratique de nos jours, en grande masse, amène une séparation complète des deux éléments de la terre végétale ; il entraîne les limons jusqu'à la mer, et ne laisse à la surface du sol que des sables et des galets infertiles.

Un voyageur qui a longtemps habité la Californie et en a visité tous les placers, nous a affirmé à cet égard que la quantité de terres végétales détruites ou frappées à jamais de stérilité par les amas de sables et de graviers dont elles restaient recouvertes, était telle qu'en l'évaluant à 1 000 ou 1 200f l'hectare seulement, sa valeur serait supérieure à celle de l'or qu'on en avait extrait.

Nous avons vu sous nos yeux un industriel, après avoir fait des essais de lessivage sur les alluvions de Saint-Bauzille, dans le bassin de l'Hérault, obligé d'y renoncer, bien qu'il eût trouvé de l'or, parce que sa valeur était inférieure à celle des terrains cultivés qu'il eût fallu détruire pour l'extraire. Il est donc très-naturel d'admettre que la désagrégation en grande masse des terrains nécessaires pour constituer l'alluvion végétale, donnerait lieu à la séparation d'une quantité d'or considérable, qui pourrait être recueillie sans nouveaux frais, sans aucun des inconvénients inhérents aux exploitations spéciales des Romains et des Américains. Les procédés pratiques que nous proposons auront en en effet pour résultat d'enfouir ou de cantonner sur des espaces restreints les sables et cailloux infertiles ; de conserver au contraire et de répartir sur d'immenses surfaces les alluvions limoneuses.

rales d'une moindre valeur dont on ne saurait contester l'abondance, et qu'il pourrait être avantageux de recueillir à peu de frais. Tel serait par exemple le minerai de fer, qui entre pour 7 à 8 p. °/₀ dans les argiles de Lannemezan, dont nous proposons l'emploi pour la fertilisation des Landes.

A raison de sa plus grande densité, ce minerai serait rejeté avec les sables de fond par les vannes de décharge, et il paraîtrait aisé de l'isoler dans un assez grand état de pureté pour pouvoir l'utiliser avec bénéfice.

On nous pardonnera de signaler, en passant, ces produits accessoires d'une opération dont les résultats essentiels sont trop importants et trop certains pour qu'il soit nécessaire de rien demander au-delà de l'amélioration agricole qu'ils doivent produire. Nous aurions pu nous dispenser de revenir sur cette question; nous avons cru cependant devoir la signaler, vaille que vaille, sans lui attribuer plus d'importance réelle qu'elle n'en mérite.

LXXXV.

Dans notre première brochure, nous avons cherché à faire entrevoir l'extension que notre système pourrait recevoir non-seulement en France mais à l'étranger; nous avons signalé, parmi nos diverses provinces, celles qui étaient plus spécialement propres à être régénérées par les alluvions artificielles.

Dans l'intérêt de la réussite de nos idées, nous aurions peut-être mieux fait de nous abstenir à cet égard de développements qui, par cela surtout qu'ils étaient incomplets, devaient avoir une apparence hypothétique.

Il en est toujours ainsi aux débuts d'une industrie nouvelle. Tant qu'elle ne repose que sur une conception

théorique, il serait bien difficile de pouvoir déterminer jusqu'où elle pourra s'étendre, en deçà de quelles limites elle devra s'arrêter. Lors de la pose des premiers rails de chemins de fer en France, quand il était besoin d'une garantie d'intérêt de l'État pour assurer la construction de la ligne de Paris à Orléans, on eût sans doute été mal venu à prédire le moment prochain où un réseau de 20 000 kilom. serait à la veille de réunir les uns aux autres, dans tous les sens, nos moindres centres de population.

Il serait tout aussi téméraire aujourd'hui de vouloir préciser, avant toute expérience pratique, l'avenir des canaux de colmatage artificiel. Nous ne croyons pourtant pas inutile d'entrer à cet égard dans quelques considérations générales; qui ont surtout pour but de résumer les principes de notre théorie, de la rattacher plus étroitement à tous les développements qui précèdent, sur le rôle que les courants d'eau actuels ont joué dans la production de nos bonnes terres végétales. Les meilleures, mais en très-petite quantité, appartiennent à la catégorie des alluvions modernes. La plupart ont une origine diluvienne, proviennent des grands déplacements d'eau qui, à diverses époques géologiques, ont dû balayer et remanier la surface du globe. Quelques-unes appartiennent aux épanchements de matières boueuses que des glaciers aujourd'hui disparus ont distribués sur les flancs ou à la base du massif de nos montagnes principales.

Nous avons étudié avec soin comment se produisaient les alluvions actuelles, comment il paraissait possible d'améliorer, par un aménagement convenable, les terres végétales qu'elles ont produites. Mais le but essentiel de cet ouvrage est moins de régénérer ces formations naturelles, d'une étendue restreinte, que d'appeler les terres d'origine

diluvienne ou sédimentaire à profiter des mêmes avantages. Les courants qui les ont formées sont interrompus. Nous proposons de les rétablir, non plus avec la masse de leurs eaux et leur première intensité d'action, mais avec tous leurs effets réellement utiles.

En remontant à la source de l'épanchement primitif, nous trouverons tout à la fois les éléments minéraux nécessaires à la régénération du sol et la force mécanique propre à mettre en œuvre ces matériaux. L'alluvion végétale, reconstituée au point de départ, s'écoulera sur les formations sédimentaires, suivant le plan incliné naturel qui les rattache aux régions supérieures.

L'opération sera d'autant plus facile que les lieux auront été moins dénaturés par les bouleversements géologiques, et par suite que les terrains à améliorer appartiendront à une période plus récente.

L'observation confirme de tout point ces prévisions. Les terrains diluviens les plus modernes, ceux qui se rapportent au diluvium Alpin, ont conservé parfaitement intacts leurs plans inclinés de déversement. Le courant a déjà été rétabli sur la plupart pour le service des irrigations, ainsi qu'on le voit sur la Crau de Provence, les plaines du Comtat et du Roussillon en France, celles de la Lombardie en Italie, celles de l'Aragon dans la vallée de l'Èbre, etc.

Le même état de conservation du relief primitif se retrouve encore dans les formations immédiatement antérieures. Nous avons déjà cité les dérivations exécutées ou projetées jusqu'à ce jour pour porter sur les terrains de l'Armagnac et du Béarn les eaux de la Neste et du Gave. Un simple changement dans la destination de ces canaux leur permettrait de conduire, non plus un filet d'eaux limpides, toujours insuffisant pour un arrosage de quelque

étendue, mais un fleuve boueux dont les sédiments changeraient en terres fertiles la vaste région de 4 millions d'hectares comprise entre les Pyrénées et le circuit de la Garonne. Nous trouverions des facilités d'exécution du même genre sur tous les terrains de la rive gauche de la Loire, la Sologne, la Brenne, adossées aux montagnes du centre, et sur un grand nombre de formations sédimentaires encore plus anciennes.

A mesure cependant que nous remonterons dans l'âge géologique, les conditions pourront changer. Les convulsions successives du globe ont parfois interrompu la continuité primitive des épanchements diluviens ou glaciaires. Sur certains points, les montagnes alimentaires se sont affaissées ou ont disparu ; sur d'autres, les couches sédimentaires se sont relevées.

Nous ne conclurons donc pas *à priori* qu'il soit également possible de dévier des torrents d'alluvions artificielles sur la totalité des terrains sédimentaires à surface horizontale, dont l'ensemble, d'après MM. Élie de Beaumont et Dufresnoy, occupe plus de la moitié de la surface de la France.

Nous ne croyons pas trop nous avancer toutefois en admettant, par ce que nous connaissons de la topographie de notre sol, que le bénéfice de cette régénération agronomique pourra s'étendre, en France, à une surface de 10 à 12 millions d'hectares.

Ce que l'application de nos procédés pourra produire au-delà ; les résultats qu'on pourra obtenir en faisant franchir aux limons des faites intermédiaires[1], en les trans-

[1] L'exemple du canal de la Durance nous a montré qu'avec une pente de $0^m,33$ par kilomètre et un débit de 8 à 10 mètres à la seconde, un

portant peut-être d'un bassin dans un autre, il serait sans doute très-prématuré de notre part de vouloir l'annoncer d'avance.

Réduite, aux termes dans lesquels nous la présentons, au répandage d'une nouvelle couche d'alluvions fécondantes sur une surface de 12 millions d'hectares groupés aux pieds des Pyrénées, des Alpes, ou des montagnes du centre, la question n'en a pas moins une très-grande importance. Ces contrées régénérées pourraient, à elles seules (LXXVII), rapporter deux fois autant de produits agricoles que la France entière dans son état actuel. En nous limitant à ce point de vue éminemment pratique, en nous restreignant aux sols sur lesquels l'emploi de notre méthode parait immédiatement applicable, avec des frais relativement minimes, nous sommes donc fondé à prédire qu'il aura pour effet de tripler notre richesse agricole.

Les résultats des alluvions artificielles ne se traduiront pas seulement par un énorme accroissement de la produc-

torrent artificiel pouvait maintenir en suspension et transporter une proportion de limons secs, dépassant très-certainement 2 p. °/o, atteignant probablement 3 à 4 p. °/o, soit, pour un travail de 200 jours par an, un cube de 6 à 8 millions de mètres d'alluvions.

Dans ces conditions, le rayon d'approvisionnement des torrents artificiels pourrait être prolongé bien au-delà des limites naturelles des bassins qu'ils seraient appelés à régénérer. Une pente disponible de 2 à 300 mètres, convenablement aménagée, suffirait pour leur faire traverser la France entière. Le niveau des lacs de Genève ou de Neufchâtel permettrait de porter leurs eaux enrichies de limons jusqu'aux rivages de la Bretagne.

Nous ne citons, bien entendu, ces dernières dérivations que pour en signaler la possibilité théorique, quant à la suffisance des pentes; mais nous n'entendons nullement en préjuger les avantages économiques, qui pourraient ne pas se trouver en rapport avec les énormes dépenses qu'un semblable travail entraînerait.

tion, mais par une réduction équivalente dans les frais de culture, dans la masse de travail que la main de l'homme devra produire.

Nos bonnes terres végétales, et nous avons vu combien sont rares celles qui peuvent mériter ce titre, sont disséminées, sur toute la surface de notre territoire, en lambeaux épars. Les divisions naturelles résultant de l'inégalité de relief du sol, des découpures des vallées, des saillies des collines, plus encore que le morcellement artificiel des héritages, rendent impraticables tous les procédés de grande culture.

Toute autre sera la tâche du cultivateur lorsque, au lieu d'avoir à varier à l'infini les détails de l'exploitation, le choix des assolements suivant la nature variable du sol, il pourra opérer sur un terrain sensiblement horizontal, de composition parfaitement uniforme. La culture pourra être ramenée en quelque sorte à une œuvre purement mécanique, comportant des règles fixes et certaines, où le travail de l'homme se réduira à diriger l'emploi des engins perfectionnés que l'industrie moderne peut lui fournir. Nous reviendrons avec plus de détails (XCVIII) sur cette importante question du travail des machines dans l'agriculture ; ce premier aperçu suffit à faire comprendre comment notre méthode, en même temps qu'elle étendra indéfiniment le champ de la production végétale, permettra de le mettre en œuvre avec de bien moindres efforts.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE.

SECONDE PARTIE

APPLICATIONS DIVERSES.

CHAPITRE PREMIER

ALLUVIONS NATURELLES. PROJET D'ENDIGUEMENT ET DE RESTAURATION GÉOLOGIQUE DU BASSIN DE LA GAUNÈDE SUR LA RIVIÈRE D'ORB.

LXXXVI.

A mesure que se développaient pour nous les principes théoriques exposés dans la première partie de cet ouvrage, nous avons été amené à en proposer l'application à diverses entreprises d'amélioration agricole dont l'étude rentrait dans les attributions de notre service. Les projets que nous avons présentés sont, pour la plupart, restés à l'état de lettre morte, sans que ce résultat négatif ait eu lieu de nous surprendre.

Les habitudes de solidarité, en fait de travaux d'amélioration agricole, sont trop peu répandues en France; la propriété y est trop morcelée; l'indifférence, et nous pourrions dire la méfiance plus ou moins justifiée des propriétaires, sont trop grandes pour qu'on puisse, de longtemps encore, espérer quelque initiative de leur part en faveur des travaux d'ensemble qui exigeraient leur concours.

Nous comprenons d'ailleurs que l'État, malgré ses intentions généreuses, hésite à s'immiscer dans des questions où trop d'intérêts privés sont en jeu, où son action ne pourrait être efficace que tout autant qu'elle serait secondée.

En principe, cette intervention pourrait sans doute se justifier; car, quelque sacrés que soient les droits de la propriété privée, ils ne sauraient être cependant absolus, en présence des intérêts généraux de la société. Entre le propriétaire qui mettrait volontairement le feu à sa ferme ou à ses récoltes et celui qui laisserait ses terres en friche ou se refuserait à profiter d'une amélioration incontestable, il serait difficile de déterminer le point précis où devrait s'arrêter l'action de l'État.

Dans une question qui ne saurait laisser aucun doute, où les résultats pratiques de l'opération seraient parfaitement assurés, on ne saurait contester au Gouvernement, non-seulement la faculté légale, mais le devoir moral d'agir par tous les moyens d'autorité et de persuasion en son pouvoir, pour empêcher que le mauvais vouloir d'un petit nombre ne paralyse les bonnes intentions de la majorité. Mais il est malheureusement rare que les travaux d'amélioration agricole se présentent avec ce degré de certitude mathématique.

Nous avons vu combien il restait à faire encore pour résoudre toutes les questions au point de vue théorique. Si confiant que nous soyons, en effet, dans l'efficacité des diverses solutions que nous avons proposées, nous ne sommes pas assez présomptueux pour supposer qu'elles soient toutes également parfaites, qu'elles doivent être admises sans discussion et sans épreuve préalables.

Si la théorie est incomplète, à plus forte raison la pratique laisse-t-elle à désirer.

Dans ce doute et cette incertitude, l'État ne saurait contraindre des propriétaires à s'associer, pour des entreprises dont il ne pourrait leur garantir le succès. D'un autre côté, nous comprenons qu'il ne veuille et ne puisse pas rester inactif.

En dehors de l'organisation des Concours agricoles, de quelques primes ou encouragements pécuniaires plus ou moins efficaces pour stimuler l'initiative individuelle, l'Administration a jusqu'ici borné son intervention à l'ouverture de nouvelles voies de communication. La presque totalité des dépenses inscrites au budget sous le titre d'améliorations agricoles n'ont pas d'autre but. Nous n'avons nullement l'intention de critiquer cette tendance et cet emploi des fonds de l'État. Les bonnes routes sont sans doute un élément essentiel de prospérité agricole dans un pays; mais si l'on peut être certain qu'elles arrivent d'elles-mêmes, par la force des choses, dans les contrées où l'agriculture est naturellement en progrès, il est malheureusement moins exact de dire qu'elles suffisent toujours à elles seules pour déterminer ce progrès. Grâce à des sacrifices sans cesse renouvelés par le Trésor public, nos contrées les plus arides, les Landes, la Sologne, la Brenne, sont aujourd'hui sillonnées de plus de routes que nos plus fertiles provinces. Ces voies nouvelles ont sans doute donné une plus-value considérable aux produits naturels du sol : facilité l'exploitation des bois, des résines, des troupeaux; déterminé une prospérité relative; mais, en dehors de ces premiers résultats, il ne paraît pas qu'elles en aient amené beaucoup d'autres. Parcourant la Sologne il y a peu de temps, nous avons vu bon nombre de propriétaires, non contents des routes agricoles qu'ils ont obtenues, réclamer des canaux agricoles, des chemins de fer agricoles. Ferait-

on droit à ces nouvelles prétentions, que l'état des choses n'en serait guère amélioré. Les voies de communication sont bonnes à desservir les terrains fertiles, mais elles ne sauraient les créer.

Le Gouvernement comprend la nécessité de faire autre chose que d'ouvrir incessamment de nouvelles routes restant sans circulation dans des déserts. C'est à ce sentiment, sans doute, que nous sommes personnellement redevable de la bienveillance avec laquelle, à deux reprises différentes, l'Administration a accueilli ou discuté nos propositions sur la question des dessalements et sur celle de la création des alluvions artificielles.

L'État ne saurait en effet se condamner à un rôle passif. Dans la nécessité d'agir, il ne peut, pour le moment, avoir d'autre but que celui d'expérimenter les méthodes nouvelles qui lui sont proposées et qui lui paraissent réellement dignes de son attention. C'est un concours ouvert dont l'Administration doit naturellement faire tous les frais, sans trop se préoccuper des résultats immédiats de ces essais, car une réussite suffit à compenser pour elle bien des échecs.

Le mode d'opérer peut varier suivant les circonstances. L'État peut parfois être amené à se faire lui-même propriétaire du champ d'expérience, comme nous aurions désiré qu'il le fît dans la question des dessalements. Il peut aussi s'en remettre à l'action individuelle des particuliers du soin de mettre à profit un travail d'intérêt général, dont il prendrait à sa charge toutes les chances de perte éventuelles.

Il peut enfin, comme il l'a fait pour les chemins de fer, recourir aux compagnies financières, en les aidant au début, soit par des subventions, soit par des garanties d'intérêt. Si l'on se rappelle, ainsi que nous le disions

tout à l'heure, qu'il y a moins de vingt-cinq ans, une garantie de ce genre a été nécessaire pour assurer l'ouverture d'une ligne de fer entre Paris et Orléans, on comprendra les hésitations qui ont pu accueillir notre projet de fertilisation des Landes, dont les résultats sociaux seront, nous croyons pouvoir l'espérer, tout aussi avantageux que ceux du chemin de fer d'Orléans, mais dont la conception repose sur des données théoriques qui sont nouvelles aujourd'hui, bien qu'elles nous paraissent avoir, en l'état, un caractère plus pratique et plus applicable que les chemins de fer en 1840.

LXXXVII.

Nous reviendrons sur ces considérations et sur le rôle que les compagnies financières peuvent être appelées à jouer dans la transformation agricole de notre pays. Sans avoir la prétention de traiter à fond ce côté de la question, nous l'effleurerons à son tour. L'essentiel pour le moment est de compléter l'exposé technique des nouvelles méthodes dont nous proposons l'emploi. C'est à ce titre que nous croyons devoir rappeler comme types quelques-unes de nos études, bien qu'elles n'aient, pour la plupart, qu'un intérêt purement local. Dans le nombre, nous choisirons, pour débuter, le projet d'endiguement et d'irrigation du syndicat de la Gaunède et de Savignac, qui, mieux qu'un autre, nous permettra de résumer les bases essentielles de nos recherches sur les corrélations existant entre le régime des rivières et l'état de culture de leurs vallées, et de faire voir quel peut en être le côté pratique dans des circonstances données.

Les plaines de la Gaunède et de Savignac (*Pl.* III), sur la rivière d'Orb, constituées en syndicat d'endiguement

par décret du 14 juin 1855, occupent le fond d'un bassin encaissé par des coteaux argileux appartenant au terrain tertiaire moyen. La longueur de ce bassin est de près de 7 000^{m}, sa largeur normale est de 12 à 1 500^{m}, mais il se trouve étranglé en son milieu par une saillie du coteau de la rive gauche, qui réduit à 500^{m} la largeur des terrains submersibles. La surface totale comprise dans le périmètre est de 600 hectares environ, presque entièrement formée d'un sol mobile et graveleux, constamment bouleversé par la rivière d'Orb, qui déplace son lit à chaque crue.

Pour faire apprécier les dispositions proposées dans le projet que nous avons été chargé d'étudier, il est nécessaire d'entrer dans quelques détails sur la constitution géologique du bassin et sur le régime de l'Orb, non-seulement dans l'étendue du syndicat, mais sur tout le cours inférieur de cette rivière, comprenant une longueur totale de 30 kilomètres, jusqu'à son embouchure dans la Méditerranée. Le bassin de ce syndicat commence à la séparation de deux formations distinctes : l'une *lacustre*, et l'autre *marine*, qui constituent les terrains tertiaires du département de l'Hérault.

L'étage d'amont du terrain d'eau douce, contre lequel sont venues s'appuyer les couches plus friables de la formation marine postérieure, est formé lui-même de puissantes assises de calcaire compacte et résistant. Les bords de ces calcaires, relevés en falaises, forment parallèlement à la mer comme un barrage naturel, à travers les fissures duquel l'Orb a dû se frayer un passage.

C'est en regard de cette fracture, gorge étroite et escarpée par laquelle l'Orb s'échappe aujourd'hui, qu'une vallée large et profonde a dû se creuser dans les terrains affouillables de la formation marine. Cette vallée doit-elle sa forme

première à l'action lente et continue de crues analogues à celles que nous voyons se produire aujourd'hui? A-t-elle été produite au contraire par une cause accidentelle plus active? Le fait importe peu en lui-même, bien que la seconde hypothèse soit celle qui rende le mieux compte des résultats.

On comprend en effet que, sous l'action d'un des grands courants diluviens dus aux cataclysmes qui ont séparé les diverses périodes géologiques du globe, il se soit produit, à la sortie des gorges de l'Orb, un phénomène d'affouillement analogue à celui que l'on remarque sur une petite échelle, toutes les fois qu'on établit un barrage fixe en travers d'une rivière à fond mobile.

Sur l'emplacement probable d'une faille continuant la coupure des roches lacustres, le courant diluvien a creusé un sillon large et profond, dessinant la forme première de la vallée de l'Orb, entre les berges élevées des coteaux qui la limitent encore aujourd'hui.

Mais, dès la fin de cette première période violente de formation, à mesure que le courant primitif s'est ralenti, des sédiments ont dû commencer à se déposer et à combler une partie de ce large chenal.

Continuée par l'action incessante des crues de la rivière, cette période de réorganisation s'est prolongée jusqu'à nos jours, l'Orb s'encaissant peu à peu dans un lit mineur compris entre les riches terrains d'alluvion qui se sont déposés sur les deux bords de la vallée primitive.

Un état d'équilibre a fini par s'établir, dans ce travail de recomposition du sol, entre la force d'entrainement des grandes crues d'une part, et la résistance des limons déposés de l'autre.

C'est à cette double action qui, de proche en proche,

s'est fait sentir depuis la mer jusqu'aux environs des roches lacustres, qu'est due la formation de la vallée qui s'étend tant en amont qu'en aval de Béziers. Moulée dans un chenal profond où les eaux de la mer refluaient à l'origine, elle appartient nécessairement à la catégorie des formations limoneuses. Elle en présente tous les caractères, mais son profil transversal n'a pu s'établir et se maintenir en remontant vers l'amont, qu'à la condition d'une pente longitudinale régulière, trop faible pour racheter en entier la différence de hauteur existant entre le niveau de la mer et le seuil fixe d'échappement des eaux de l'Orb, à la sortie des gorges inaffouillables du terrain lacustre. Au point de jonction, il a dû subsister un espace plus ou moins considérable de l'affouillement primitif imparfaitement comblé, et sur lequel s'opère le changement des deux régimes différents qui correspondent, l'un aux gorges étroites escarpées à pente brusque, convenant à la résistance des roches lacustres; l'autre, au canal à faible pente que comportent les terrains d'alluvion de la partie inférieure.

C'est cet emplacement intermédiaire, dans lequel les alluvions modernes ne sauraient acquérir de fixité, qui constitue la plaine de la Gaunède et de Savignac.

LXXXVIII.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, le lit de la rivière n'a aucune direction stable dans cette partie de la vallée. Il se déplace continuellement à travers des amas de graviers qui ne sont momentanément fixés que par des plantations[1] qui

[1] Le plus souvent dans les vallées analogues, à fond mobile, la distribution des propriétés régie par le droit d'accession s'opère par bandes étroites et perpendiculaires s'étendant d'un coteau à l'autre. Contrai-

se couvrent parfois d'alluvions fertiles qu'une seule crue peut amener, mais qui sont aussitôt emportées que formées, dès qu'on essaie de les mettre en culture régulière.

Quelque désordonné que soit en apparence le régime de la rivière dans cette partie de sa vallée, on peut cependant reconnaître qu'il est soumis à des variations périodiques dont l'étude est indispensable pour nous faire connaître les moyens propres à le régulariser complètement.

A l'époque des très-grandes crues, les eaux, débouchant dans la vallée à la sortie des roches lacustres, se précipitent en nappes qui, bien que relativement moins profondes à raison de leur grande largeur, n'en ont pas moins assez de violence pour affouiller et entraîner avec elles, en ligne droite, tous les graviers qui se trouvent sur leur passage à l'amont du bassin. A l'aval, au contraire, doit commencer à s'établir le régime régulier propre au chenal qui se continue, dans les terres d'alluvion, jusqu'à Béziers et au-delà. Il se produit en ce point un remous à peu près horizontal, suffisant pour racheter la différence de niveau existant entre les crues, qui n'atteignent que de 3 à 4^m dans la plaine de la Gaunède, qui s'élèvent à 7 ou 8^m dans le chenal à la suite. Les troubles entraînés de la partie supérieure du bassin se déposent en amas plus ou moins considérables dans les eaux relativement tranquilles, barrées par le remous de l'étranglement inférieur.

rement à cette règle générale, le droit d'accession n'existe pas dans le bassin de la Gaunède. Les parcelles y ont des dimensions déterminées et immuables, repérées par le cadastre, indépendantes des caprices de la rivière. Les déplacements n'équivalent nullement à une dépossession. Le propriétaire du nouveau lit conserve en droit la propriété nominale de son terrain, en attendant qu'une nouvelle déviation de la rivière lui en rende la libre jouissance, en fait.

Lorsque la crue atteint sa période décroissanté, l'effet est tout différent. Les eaux qui sortent des défilés calcaires ne conservent plus, en s'épanouissant dans une large vallée, une force suffisante pour continuer l'affouillement. Les excavations nouvellement formées sont au contraire peu à peu comblées par les dépôts entraînés des régions supérieures.

Le courant se concentre en un ou plusieurs bras à l'amont; tandis qu'en aval, les amas de gravier déposés en tête du chenal inférieur restent à découvert. C'est alors en ce point que se trouve la véritable chute des eaux. Les dépôts sont entraînés peu à peu, et les lieux tendent à revenir lentement à leur état antérieur.

Conformément à la règle générale que nous avons énoncée sous le nom d'inversion des profils (XXV), nous avons une reproduction naturelle et successive de deux phénomènes contraires, devant se compenser l'un l'autre à intervalles plus ou moins éloignés : érosion de la partie supérieure du bassin et remblai de sa partie inférieure pendant la période d'intensité des grandes crues; remblai à l'amont et dégravoiement à l'aval, à la fin des grandes crues et pendant les crues faibles ou moyennes.

L'équilibre est donc bien établi aujourd'hui, quant à l'état moyen ; mais on comprendra qu'un pareil régime ne puisse se prêter à aucune culture régulière.

A raison de la grande pente de la vallée, les courants qui la balayent tantôt en amont, tantôt en aval, ne sauraient comporter le dépôt des matières limoneuses. Les graviers, les cailloux seuls, peuvent résister à la grande vitesse des eaux. Le lit variable de la rivière et les plaines submersibles qui le bordent, ne peuvent dès-lors appartenir qu'aux formations que nous avons désignées sous le nom générique de sablonneuses (XXIII). Elles comportent un ou plusieurs bras peu

profonds, à fond plat, pour l'écoulement des eaux, se continuant par des talus faiblement inclinés de cailloux et de graviers, orientés dans le sens de la plus grande résistance au courant.

La longueur totale entre le roc de Mus, qu'on peut considérer comme le dernier étranglement des défilés supérieurs, et l'embouchure du ruisseau de Canterane, origine du régime régulier, correspondant aux alluvions inférieures, est de 6 800^{m}. La pente à l'étiage, qui n'a pas une grande importance dans la question, est de 12^{m},14 entre ces deux points. La pente en hautes eaux, dont l'influence est beaucoup plus grande, n'est que de 10^{m},00. Mais cette dernière inclinaison, dont la moyenne est 1^{m},46 par kilomètre, est très-inégalement répartie : s'élevant à 2^{m},07 à l'amont du bassin, elle descend à 0^{m},50 dans les trois derniers kilomètres d'aval.

Si, dans la partie de la vallée en dessous du ruisseau de Canterane, où le régime de la rivière est régulier, nous prenons une longueur égale de 6 800^{m} s'étendant jusqu'auprès de Béziers, la pente totale, qui n'y est plus que de 2^{m},87 à l'étiage, s'élève au contraire, en temps de crue, à 4^{m},92, correspondant à une inclinaison moyenne de 0^{m},72 par kilomètre.

LXXXIX.

Tel était et est encore l'état naturel du bassin des plaines de la Gaunède, sur lequel nous avons eu à faire l'étude d'une première application des idées théoriques que nous avons exposées plus haut. Il constitue entre les gorges abruptes à fond de roche, dénuées de culture, qui s'étendent en amont du roc de Mus et les riches terres de la vallée en aval du ruisseau de Canterane, une zone inter-

médiaire comprenant une vaste étendue de terrains mobiles, tour à tour rétablis et emportés par les eaux, dont le sol aride et caillouteux, dépourvu de fixité, n'a qu'une faible valeur agricole.

Admettons que, par un moyen quelconque, on parvienne à supprimer en temps de crue une quantité de force vive équivalente à une pente de $5^m,08$ sur les 10^m qui composent la chute totale, en vertu de laquelle s'opère l'écoulement entre le roc de Mus et Canterane, l'inclinaison moyenne sera ramenée à $0^m,72$ par kilomètre. Dans cette hypothèse, — l'équilibre se trouvant rétabli entre les forces de résistance et d'entraînement, — des alluvions limoneuses analogues à celles qui constituent le lit régulier de l'Orb, en aval du ruisseau de Canterane, se prolongeraient naturellement à l'amont et continueraient la vallée inférieure avec ses terres riches et fertiles, jusqu'à la rencontre des roches lacustres.

Théoriquement, cette réduction de force vive peut être obtenue par plusieurs moyens. Entre ceux que nous avons indiqués dans la première partie de cet ouvrage, nous nous étions arrêté à l'emploi de digues transversales barrant la vallée submersible dans toute sa largeur.

Chacune d'elles devait avoir un pertuis central pour l'écoulement des eaux sur l'emplacement du lit normal réservé à la rivière. Les musoirs en regard d'un même pertuis devaient être en outre reliés par un large seuil ou barrage fixe, formant un épanchoir solidement maçonné sur ses trois faces, calculé pour produire non-seulement une accélération de vitesse, mais une véritable chute en tout état des eaux.

Le nombre des digues transversales à construire avait été fixé à trois.

L'emplacement de la première devant racheter le plus

grand excès de pente nuisible, dans le haut du bassin, avait été déterminé par l'existence, en ce point, d'une chaussée en remblai, déjà construite pour desservir un pont suspendu emporté par la crue de 1856.

Le rétablissement de ce pont paraissant offrir des difficultés sérieuses, il avait été question de le déplacer et de le reporter en amont à la sortie des gorges calcaires du roc de Mus, où ses fondations auraient pu être établies sur un terrain naturellement solide. Notre opinion fut toute autre. En même temps qu'on songeait à reconstruire le pont emporté sur le chemin de Cazouls à Murviel, on parlait déjà d'en établir un second en aval pour les communications de Cazouls sur Thézan. Le plan topographique du bassin à la main, il nous fut aisé de faire comprendre qu'un seul pont devait suffire, en l'établissant non plus à l'une ou à l'autre extrémité du bassin, mais en son centre, dans la direction de l'étranglement formé par le coteau de Malaure qui le divise en deux parties égales. Non-seulement le pont placé en ce point pouvait, sans augmentation notable de parcours, desservir à la fois les deux directions; mais la moindre longueur des levées à construire compensait largement le surcroît de dépenses que devait entraîner le défaut de solidité du fond.

Cette chaussée projetée pour le nouveau pont, à l'étranglement de Malaure, constituait naturellement notre seconde digue transversale, dont les musoirs devaient former les piles de suspension, le barrage servant de radier général.

La troisième digue devait être établie vers le milieu de la partie inférieure du bassin, en face la métairie d'Aspiran.

L'emplacement des digues ainsi arrêté, restait à en déterminer la hauteur.

Le débit de la rivière d'Orb, déduit des observations faites sur les crues de 1825 et de 1856, les plus considérables qui aient été signalées depuis le commencement du siècle, est au maximum de 2 500^{m}.

Nous avions cru devoir admettre pour la largeur normale des pertuis réservés entre les digues, qui serait aussi celle du lit normal intermédiaire, une ouverture de 100^{m}, déjà donnée au pont suspendu.

La charge d'eau h, nécessaire pour que les pertuis fonctionnassent comme déversoirs libres à l'aval, était donnée par la formule ordinaire du déversoir, qu'on peut mettre sous la forme $h=\frac{3}{2}\sqrt[3]{\frac{Q^2}{g}}$
dans laquelle $Q = 25^{m}$, d'où l'on déduit :

$$h = 6^{m},00.$$

La crête des digues devait être établie à $0^{m},50$ plus haut, tout au moins, soit à $6^{m},50$ en dessus du barrage à l'aplomb des musoirs, avec rampe vers les coteaux.

Ces chiffres préliminaires établis, il restait à arrêter la direction normale du nouveau lit, ce qui s'est fait aisément sur le plan, et à déterminer la hauteur relative des barrages réservés entre les digues.

Admettons, pour fixer les idées au point de vue théorique, qu'on voulût s'imposer pour règle de conserver dans l'état final, après le colmatage complet des rives, une vitesse normale de $0^{m},72$ par kilomètre au courant principal, dans l'intervalle des digues, chaque barrage déterminant d'ailleurs une chute libre suffisante pour amortir le tiers de l'excédant total de $5^{m},08$, qu'on aurait à détruire dans la pente.

Dans cette hypothèse, il eût été facile de déduire les

hauteurs successives des trois barrages de la cote connue pour la hauteur de la crue de 1856, au ruisseau de Canterane, et des distances mesurées entre les digues.

Ces cotes de hauteur des crêtes des trois barrages auraient été, en remontant :

17^m,35 pour le barrage d'Aspiran ;

20^m,01 pour celui de Malaure ;

23^m,44 pour celui de l'ancien pont suspendu.

La cote des digues établies à 6^m,50 au-dessus des barrages aurait été respectivement 23^m,85; 26^m,51; 29^m,94.

XC.

Admettant ces trois digues construites dans les conditions que nous venons d'indiquer, sans nous inquiéter de la dépense et du temps qu'aurait entraînés l'opération, le résultat final ne saurait être douteux. Les eaux de crue, retenues sans vitesse dans les bassins successifs formés par les digues, y déposeraient tous les troubles dont elles seraient chargées. Un équilibre correspondant aux nouvelles conditions du régime de la rivière, s'établirait dans ces dépôts. Les alluvions limoneuses en suspension, ne pouvant plus être entraînées par les courants latéraux, s'accumuleraient dans les eaux tranquilles comprises entre les parties pleines des digues.

Le courant se concentrerait de lui-même, à mesure, suivant le tracé le plus court et du plus grand débit qui lui serait ménagé dans l'axe des pertuis. Chacun d'eux constituerait comme une sorte de gabarrit dessinant à l'avance le profil futur de la vallée, qui se composerait d'un chenal de 100^m de largeur, encaissé à une profondeur de 4 à 5^m entre des formations limoneuses distribuées en trois terrasses consécutives.

Les graviers et sables de fond, entraînés par le courant supérieur, seraient, dans l'origine, nivelés ou rejetés en dehors du lit. Plus tard,—lorsque le régime normal se serait établi et que le courant central, encaissé dans ses nouvelles berges limoneuses, aurait pris une accélération de vitesse suffisante,—ces dépôts de fond, franchissant les barrages, seraient entraînés ou broyés dans la traversée du bassin modifié, comme ils le sont aujourd'hui dans la partie inférieure de la vallée de l'Orb.

La transformation complète du régime des crues déterminerait donc celle des rives, au point de vue théorique, nous le répétons ; mais il est bien évident que cette solution ne saurait être avantageuse que tout autant qu'elle serait économiquement pratique. Il était dès-lors nécessaire de tenir compte de la dépense que les travaux devaient occasionner, et du temps qu'exigerait le colmatage des plaines latérales suivant le nouveau profil type.

Or, avec les hauteurs auxquelles nous avons été conduit, non-seulement les digues auraient été très-coûteuses, mais les barrages auraient, en temps d'étiage, amené la submersion d'une partie notable des terrains voisins. Nous aurions produit trois étangs successifs dont il aurait fallu attendre l'émersion complète par le fait du colmatage, avant de pouvoir les mettre en culture.

En étudiant de plus près les conditions du problème, nous avons reconnu qu'on pourrait abaisser quelque peu le niveau des retenues successives. A l'origine de l'opération, en effet, tant que les eaux se répandraient dans les plaines latérales à colmater, la pente longitudinale des biefs serait très-faible et la chute des barrages resterait complètement libre. Plus tard, à mesure que, par l'exhaussement graduel des rives, le lit se rétrécirait, la pente longitudinale

du courant irait en augmentant, et le remous pourrait finir par noyer en partie les chutes; mais dans ce cas les eaux, concentrées dans le lit normal, y prendraient une vitesse considérable dont l'accélération s'ajouterait à celle de la chute libre, pour faciliter l'écoulement par les pertuis.

Nous ne croyons pas nécessaire de reproduire les détails de la discussion et des calculs qui nous ont amené à conclure qu'on pourrait respectivement abaisser à $17^m,00$, $19^m,50$ et $22^m,48$ les niveaux des trois barrages.

Avec ces nouvelles hauteurs, on n'aurait jamais à craindre la submersion des digues à l'amont, pour une crue éventuelle de 2 500 et même de 3 000^m, quand bien même les plaines latérales seraient entièrement colmatées en dehors du lit normal de 100^m. La perte de chute en chaque barrage serait seulement un peu moindre que nous ne l'avions supposé dans le début, et la pente longitudinale du courant central pourrait finalement atteindre $1^m,00$ par kilomètre, au lieu de $0^m,72$.

Ce léger changement dans les conditions premières de notre étude aurait d'autant moins d'inconvénients que, — d'accord avec le syndicat, — nous avions proposé de compléter l'opération par un système général d'irrigation qui aurait eu pour effet d'accroitre la résistance des rives, en même temps qu'il en permettrait la mise en valeur immédiate.

Même avec la restriction que nous venons d'indiquer dans la hauteur des barrages, l'opération finale du colmatage, devant encaisser la rivière dans un lit normal de 100^m, dominé par des plaines d'alluvions qui ne seraient submersibles qu'en temps de grande crue, serait une entreprise certainement possible, mais qui exigerait un laps de temps plus ou moins séculaire.

On ne saurait estimer en effet à moins de 25 millions

de mètres cubes le volume d'alluvions qui devraient être fixées à la longue pour déterminer le profil normal de la vallée. D'un autre côté, la rivière d'Orb est loin de charrier des quantités illimitées de limon. La richesse moyenne de ses eaux peut être sous ce rapport comparée à celle du Rhône. Ce dernier fleuve, ainsi que nous l'avons dit, conduisant annuellement un cube de 17 millions de mètres de troubles pour un bassin de 10 millions d'hectares, on ne saurait estimer à plus de 250 000 mètres cubes l'apport total de l'Orb, dont le bassin n'atteint pas 150 000 hectares.

Dans les premières années, la majeure partie de ces troubles se déposeraient sans doute dans les bassins successifs, qu'ils élèveraient en moyenne à raison de $0^m,05$ par an environ; mais à mesure que le lit normal s'encaisserait davantage, une plus grande quantité de limon échapperait au dépôt. L'exhaussement latéral irait en diminuant d'année en année. En comptant sur un dépôt moyen égal à moitié du produit total de l'Orb, le colmatage complet n'exigerait pas moins de deux cents ans.

Loin d'avoir à s'effrayer de cette durée, il faudrait au contraire se féliciter de la lenteur de l'opération, sans laquelle on ne pourrait tirer aucun parti immédiat du terrain. Il est en effet possible de maintenir dans un bon état de culture un sol qui s'exhausse graduellement de quelques centimètres tous les ans; mais il n'en serait évidemment plus de même si la couche moyenne gagnée chaque année pouvait atteindre seulement 0,25 à $0^m,30$, auquel cas cependant il ne faudrait pas moins de douze à quinze ans pour arriver au profil type correspondant au régime régulier que nous avons en vue.

Le mode de culture le mieux approprié aux besoins d'un pays qui manque de fourrage, et à la nature d'un sol exposé à un lent exhaussement graduel, serait la production de

certains fourrages arrosés, et principalement des luzernes.

Le projet d'endiguement avait donc été complété, sur la demande du syndicat, par l'étude d'une dérivation supérieure pour arrosage. La prise d'eau était obtenue par un barrage de 4m de hauteur au-dessus de l'étiage, qui devait être établi à la cote 28m,56, à deux kilomètres en amont de la digue supérieure, et qui aurait alimenté sur chaque rive un canal d'arrosage.

Ces deux canaux n'étaient pas, dans nos idées, uniquement destinés à l'irrigation d'un périmètre d'une superficie totale de 750 hectares, s'étendant sur 150 hectares environ en dehors des terrains submersibles qui constituaient plus spécialement le syndicat. Nous avions proposé de prolonger l'un d'eux, celui de la rive gauche, jusqu'au pied du plateau sur lequel se trouve la ville de Béziers. Il arrivait en ce point à une hauteur de 15m,00 au-dessus de l'étiage de l'Orb. En restreignant sa portée à 500 litres, on avait une force motrice disponible de 100 chevaux, destinée à l'élévation des eaux publiques de la ville de Béziers. Cette dernière question était depuis longtemps à l'étude, et la combinaison que nous proposions nous paraissait de tout point la plus économique et la plus avantageuse. Elle était en outre la seule qui fût exempte des interruptions de chômage, en temps de crue, que présentaient tous les autres projets de distribution, reposant sur l'emploi des chutes déjà existantes sur l'Orb, dans un voisinage plus immédiat de Béziers.

XCI.

Grâce à l'adjonction des canaux d'arrosage, augmentant la résistance superficielle du sol, la transformation agricole que nous avions en vue devait être un résultat plus ou moins prochain des travaux projetés.

Il restait à voir si l'opération serait réellement fructueuse au point de vue des intérêts financiers.

En y comprenant quelques améliorations partielles, sur lesquelles nous croyons inutile d'insister, telles que la déviation du Taurou, qui aujourd'hui dévaste la plaine en aval de l'étranglement, et qui aurait été rejeté en amont du barrage n° 2 par une coupure dans le coteau de Malaure, l'ensemble du projet que nous venons d'esquisser sommairement aurait occasionné une dépense totale de 1 120 000f, savoir :

Travaux d'endiguement.	Construction des trois digues, y compris la déviation du Taurou et l'établissement des culées du nouveau pont suspendu.................	510 000f
	Endiguement longitudinal limitant le lit normal des basses eaux......	70 000
	Acquisition de terrains...........	80 000
	Total pour l'endiguement.....	660 000f
	Projet total d'irrigation comprenant le barrage de prise d'eau et les canaux d'arrosage........	460 000
	Total général.....	1 120 000f

Ce chiffre paraîtra sans doute énorme pour des travaux qui n'intéressaient en réalité que 750 hectares de terrain. Le reproche d'exagération s'atténuerait cependant, si l'on avait égard aux intérêts particuliers que nous avions rattachés à l'entreprise d'amélioration agricole : l'établissement du pont suspendu sur la levée de Malaure, et le prolongement du canal d'irrigation de la rive gauche vers Béziers.

Au premier point de vue, la construction de la levée et des culées du pont représentait, pour une entreprise qui s'est effectuée depuis, une valeur en travaux faits de 100 000f. On ne pouvait estimer à moins le bénéfice qu'au-

rait réalisé la ville de Béziers, et dont elle aurait eu à tenir compte au syndicat, si elle avait utilisé au profit de sa distribution le canal d'irrigation de la rive gauche.

Déduction faite des subventions qu'on aurait pu attendre de la ville de Béziers et de l'entreprise du pont, la dépense aurait pu être réduite à 930 000f. Ce chiffre nous paraissait encore bien élevé. Bien que le syndicat eût insisté pour nous faire comprendre dans nos études les deux projets d'endiguement et d'irrigation, il était évident qu'ils faisaient double emploi, du moins dans l'origine.

On aurait pu se borner à construire immédiatement la digue centrale, ajournant les deux autres au jour où un premier effet de colmatage en aurait rendu les travaux moins coûteux.

La dépense à la charge du syndicat aurait pu être réduite de 250 000f, ramenée à 680 000, soit moins de 1 000f par hectare de terrain arrosable.

A ces dernières conditions, l'opération, bien conduite et bien menée par les propriétaires intéressés, aurait été certainement fructueuse, car elle aurait entraîné une augmentation de 3 000f au moins par hectare, dans la valeur moyenne des terrains compris dans le périmètre des canaux d'arrosage. Tous frais déduits d'intérêts perdus et de mise en valeur à la charge des riverains, l'opération paraissait devoir produire une bonification nette de plus d'un million dans la valeur de ces terrains.

Nous ne nous dissimulons pas ce que pouvaient avoir d'hypothétique ces résultats, subordonnés en partie à l'accord préalable entre le syndicat, l'administration des chemins vicinaux et celle de la ville de Béziers. Ces trois groupes d'intéressés, loin de chercher à agir vers un but commun, s'y sont refusés dès le début, considérant comme une

entrave à leurs projets respectifs la solidarité qu'il était question d'établir entre eux.

L'organisation du syndicat a traîné en longueur. La ville de Béziers, pressée d'en finir de sa distribution d'eau, s'est arrêtée à une autre combinaison dont les travaux s'achèvent en ce moment. Le seul résultat de cette première étude a été la construction du nouveau pont suspendu, sur l'emplacement dont nous avions fait ressortir tous les avantages.

Parmi les difficultés qui ont empêché la réussite de l'entreprise, il en est, nous ne saurions en disconvenir, qui tenaient au projet lui-même, et surtout à la trop grande extension que nous avions été amené à lui donner ; — cédant sur ce point aux instances du Directeur du syndicat, qui, dans l'espoir d'obtenir une plus forte subvention sur les fonds de l'État, avait tenu à englober la plus grande surface possible dans le périmètre des canaux d'irrigation.

Le désir d'utiliser un de ces canaux, pour desservir les machines hydrauliques de la ville de Béziers, ne justifiait peut-être pas non plus l'importance énorme donnée au projet d'irrigation, qui comportait un barrage de 4^m de chute à la sortie des gorges de Rhéals, et des ouvrages considérables à la traversée des affluents du Taurou et du Rieutort.

XCII.

Si nous avions eu à remanier notre projet avec quelque espérance de le voir aboutir, nous en aurions réduit le cadre à de bien plus modestes proportions. L'endiguement transversal aurait été borné à une seule digue barrant l'étranglement naturel de Malaure. Le débouché, qui n'est déjà que de 500^m en ce point, aurait été réduit à une section non plus de 100, mais de 80^m seulement d'ouverture. La crête

du barrage restant fixée à la cote 19^{m},50, comme dans notre premier avant-projet, le passage d'une crue de 2 500^{m}, à raison d'un débit de 31^{m},25 par mètre courant, aurait exigé, d'après la formule du déversoir $h = \frac{3}{2}\sqrt[3]{\frac{Q^2}{g}}$ une élévation sur le seuil de 7^{m} environ, ce qui aurait porté la cote du bief d'amont à 26^{m},50, celle du bief d'aval restant ce qu'elle est aujourd'hui, de 23^{m},50. La chute libre aurait été de 3^{m}, représentant la moitié de la pente totale qui existe actuellement entre ce point et le roc de Mus, où les crues s'élèvent à 29^{m},50.

Ce remous de 3^{m} aurait suffi pour modifier complètement les conditions du régime actuel, en faisant disparaître la cause des grands affouillements qui se produisent dans la partie supérieure du bassin.

La fixation des alluvions latérales aurait toujours été facilitée par une irrigation générale des terrains submersibles. Renonçant toutefois à la construction coûteuse d'un barrage élevé en amont du roc de Mus, nous aurions emprunté à la chute produite par le barrage de Malaure lui-même la force motrice nécessaire à l'élévation des eaux d'arrosage.

Cette chute, en prenant les cotes actuelles, serait de 1^{m},54 au minimum; mais, par suite des affouillements qui seraient résultés de la chasse du barrage pendant les crues, elle eût été très-certainement augmentée et portée à 2^{m} au moins. Le débit de l'Orb étant de 2 500 lit. en étiage, la force motrice disponible aurait été de 66 chevaux. Elle aurait servi à la mise en jeu de deux machines hydrauliques adossées aux culées de la digue, dont chacune aurait monté les eaux à deux niveaux différents, calculés pour assurer l'arrosage de tous les terrains submersibles, tant en amont qu'en aval.

Les eaux élevées auraient été reçues dans des rigoles en maçonnerie, accolées aux talus de la digue, et continuées à flanc de coteau dans les deux sens. Une cote de départ égale à celle du bajoyer de la digue, soit 27^m, aurait été suffisante pour l'amont ; vers l'aval, on aurait pu se réduire à 23^m ; soit en moyenne 25^m, représentant une hauteur d'élévation de $5^m,50$ pour les eaux puisées dans le bief d'amont à l'étiage. En admettant un rendement de 50 p. °/₀ de la force brute en eaux montées, les machines auraient pu élever à cette cote moyenne un volume de 450 litres par seconde, largement suffisant pour l'arrosage des terrains compris dans le périmètre total, qui n'aurait pas dépassé 500 hectares.

La dépense totale de ce projet, qui aurait suffi à assurer dans des limites convenables la fixation et l'arrosage du périmètre ainsi réduit à ses dimensions réelles, n'aurait pas dépassé $530\,000^f$ savoir :

Construction de la digue et du barrage de Malaure, qui, porté à $222\,000^f$ dans le premier avant-projet, n'aurait certainement pas, avec un surcroit de hauteur de 1^m, coûté plus de..............................	$280\,000^f$
Déviation du Taurou figurant pour $60\,000^f$ dans le premier projet, portée à 80 000 par suite de ce nouvel exhaussement de 1^m dans le bief..............................	80 000
2 machines hydrauliques élévatoires.....	60 000
Rigoles de distribution d'une portée moyenne de 125 litres chacune sur 12 kilomètres de longueur, à 5^f le mètre en moyenne.......	60 000
Achat de terrains, endiguement longitudinal et plantations du lit majeur, comme au premier avant-projet..............................	150 000
TOTAL....	$630\,000^f$

La digue et ses culées étant toujours supposées construites pour servir d'abord et d'appui au pont suspendu, on aurait pu réclamer, à cet égard, une subvention de 100 000^f au moins, ce qui aurait réduit les charges du syndicat à 530 000^f, soit 1 000^f environ par hectare.

Dans ces conditions nouvelles, l'entreprise, dégagée de la nécessité du concours de la ville de Béziers, ramenée à son but réel, aurait eu des résultats dont on ne pourrait contester les avantages. Dans l'état actuel, le bassin,—composé pour moitié de graviers dénudés et bouleversés par la rivière, qui ne valent pas 1 000^f l'hectare ; pour moitié de terrains plus élévés, balayés par les crues en hiver, desséchés par le soleil en été,—ne vaut pas au total un million. Ces mêmes terrains mis à l'abri des érosions, incessamment rechargés par de nouveaux dépôts d'alluvions convenablement arrosés en été, auraient très-certainement acquis, dans un laps de temps plus ou moins éloigné, une valeur moyenne de 5 à 6 000^f l'hectare, soit près de 3 millions.

Ce résultat aurait sans doute exigé des sacrifices individuels de la part des propriétaires, des pertes d'intérêt, des mécomptes momentanés qu'il serait difficile d'évaluer à l'avance. Somme toute cependant, la plus-value totale à réaliser aurait été trop grande pour ne pas laisser un bénéfice final considérable.

XCIII.

La nouvelle combinaison que nous venons d'esquisser sommairement ne serait plus possible aujourd'hui. Le pont suspendu a été reconstruit suivant le tracé que nous avions indiqué ; mais il va sans dire qu'on n'a, dans son établissement, tenu nul compte des nécessités de l'endigue-

ment tel que nous l'avions compris. La hauteur en est très-insuffisante, et la largeur libre entre les culées, qu'il nous aurait paru utile de réduire à 80^m, a été porté à 120. Cet ouvrage qui, dans nos idées, aurait dû faciliter l'amélioration de la plaine de la Gaunède, en supportant une partie des frais d'établissement, se trouverait donc en fait aujourd'hui constituer une difficulté de plus à l'application de notre projet.

Si l'on pouvait à la rigueur espérer une entente entre les deux intérêts, lorsqu'il n'y avait rien de fait, on ne saurait plus se flatter de ce résultat, aujourd'hui qu'il s'agirait de remanier le pont et ses abords, d'en rétrécir le débouché, d'en élever la chaussée et le tablier à une hauteur de beaucoup supérieure à celle qui leur a été donnée.

Si nous sommes entré dans ces détails rétrospectifs sur le projet d'endiguement et d'amélioration agricole du bassin de la Gaunède, ce n'est pas que nous espérions voir revivre une entreprise complètement abandonnée par ceux qu'elle pouvait intéresser. Nous avons tenu seulement à profiter de cet exemple, pour faire voir comment pouvait être posé, dans des circonstances analogues, le problème de géologie pratique consistant à changer la nature des formations riveraines d'un cours d'eau par une simple modification dans le régime de ses crues.

Nous n'avons nullement cherché à nous dissimuler les difficultés d'une telle entreprise. Il en est qui peuvent provenir du fait même de l'opération, des dépenses considérables qu'elle doit occasionner, de la lenteur du résultat final, puisque dans ce cas nous avons vu qu'il ne faudrait probablement pas moins de deux cents ans pour reproduire sur une longueur de 7 kilomètres environ, en amont du ruisseau de Canteranc, les conditions géologiques dans les-

quelles la vallée de l'Orb se prolonge en aval de cet affluent jusqu'à la mer.

En dehors de la question des frais de premier établissement et des incertitudes que pourrait faire redouter une application, sur une telle échelle, de principes théoriques qui n'ont pas encore pour eux la sanction de l'expérience, on ne saurait disconvenir que de plus grands empêchements proviendraient encore de la constitution actuelle de la propriété, de son morcellement entre un grand nombre d'intéressés.

On ne pourrait attendre, d'une réunion nombreuse de propriétaires, l'unité d'action, les vues d'ensemble qui seraient nécessaires pour mener à bien une entreprise de ce genre. Par incurie ou faute d'aptitude, un certain nombre d'intéressés pourraient négliger de profiter des avantages qui leur seraient offerts. Par suite de circonstances locales, ils ne seraient pas tous appelés à y participer au même degré, sans qu'il fût possible d'établir une classification équitable, mettant à la charge de chacun une partie des dépenses rigoureusement proportionnelle aux bénéfices qu'il pourrait ou qu'il saurait réaliser.

Ces difficultés, quoique grandes, ne sauraient être considérées comme insurmontables. Elles pourraient d'ailleurs être aplanies dans une première entreprise, par l'intervention et le concours de l'État, qui ne refuserait probablement pas de prendre à sa charge une partie des frais d'une expérience.

Par leur importance, par les résultats qu'ils doivent produire, des travaux de cette nature se recommandent en effet à toute la bienveillance de l'Administration supérieure. Non-seulement ils auraient pour effet de réaliser une plus-value considérable; mais ils constitueraient, en cas

de réussite, un heureux précédent propre à réveiller l'esprit d'association, si lent à se développer chez nous ; et, plus encore, ils seraient l'essai, sur une grande échelle, d'une méthode d'amélioration agricole consistant à reproduire rationnellement l'œuvre de la nature. Il ne s'agit pas, en effet, dans le système que nous venons de développer, de préserver plus ou moins efficacement des terrains déjà existants ; il n'est question de rien moins que de créer pour ainsi dire de toutes pièces, dans des conditions prévues d'avance, des terres riches et fertiles là où n'existent aujourd'hui que des sables mouvants et des graviers presque impropres à toute culture.

Utilisant sur place les alluvions produites par nos cours d'eau actuels, cette méthode pourrait prendre le nom de naturelle [1], par opposition à celle que nous avons déjà exposée, et sur laquelle nous reviendrons, qui consisterait à fabriquer artificiellement les alluvions elles-mêmes. Sans vouloir exagérer les difficultés du premier système, elles serviront pourtant à faire ressortir les immenses avantages

[1] La méthode des digues transversales que nous avons proposé d'appliquer au bassin de la Gaunède n'est pas celle qui est le plus habituellement suivie. Dans les travaux de cette nature récemment exécutés, on a donné la préférence aux digues longitudinales, pour isoler les terrains réservés à la culture, qui ont été ultérieurement fécondés par un dépôt convenable de limons. C'est dans ce sens qu'ont été entrepris, dans les départements nouvellement annexés, les travaux d'endiguement de la haute Isère et du Var. L'ouvrage de M. Nadault de Buffon contient à cet égard des détails intéressants, qui prouvent que si des entreprises de cette nature peuvent être parfois commandées par un grand intérêt public et plus encore par des considérations politiques, elles sont rarement rémunératrices. Les travaux de l'Isère coûteront au moins 9 millions pour l'amélioration plus ou moins complète de 6 000 hectares. Ceux du Var seront encore moins avantageux : ils entraîneront une dépense de près de 8 millions pour un gain de 650 hectares.

relatifs du second. La fabrication artificielle des alluvions, — augmentant dans une énorme proportion leur masse disponible, en général sans emploi ; permettant de les répandre en couches minces sur de vastes régions mieux appropriées à les recevoir que ne le sont les bandes étroites de terrains submersibles qui longent nos cours d'eau, — centuplerait tout au moins, à dépense égale, les résultats obtenus au point de vue de l'amélioration agricole.

CHAPITRE II

ALLUVIONS NATURELLES. MISE EN VALEUR DE LA CAMARGUE ET DU DELTA DU RHÔNE.

XCIV.

Nous avons vu quelles difficultés pouvaient entraver ou ajourner la restauration géologique de nos vallées torrentielles, par le dépôt des alluvions naturelles. Aux frais relativement considérables d'une telle entreprise, viennent se joindre, en effet, les inconvénients résultant de la lenteur de l'opération en elle-même, ainsi que du morcellement excessif de la propriété.

La mise en valeur des terrains marécageux existant au voisinage de l'embouchure de nos fleuves, dans les lagunes ou les atterrissements du littoral, peut à son tour rencontrer des obstacles, mais d'un ordre tout différent.

Ces terrains qui, sur plusieurs points du globe, dans le delta du Nil, comme dans celui de la Vistule, ou dans les riches plaines des Pays-Bas Néerlandais, constituent des sols d'une excessive fertilité, ne présentent sur nos côtes de France, et principalement sur celles de la Méditerranée, qu'une suite de plages stériles et malsaines, sans population ni produits agricoles.

Ces vastes régions, par leur étendue même, leur peu de valeur actuelle et leur isolement, loin de tout centre de population, échappent aux inconvénients ordinaires du

morcellement. Elles se trouvent en général divisées en un petit nombre de domaines, dans les conditions les plus favorables à l'installation de la grande culture et à l'exploitation par l'intermédiaire des compagnies industrielles.

Le sol en est le plus souvent formé, sur une épaisseur illimitée, des alluvions les plus riches en principes minéraux de toute sorte. La mise en valeur peut en être immédiate et certaine, à la condition générale de se préserver des eaux de submersion, à la condition spéciale de se débarrasser du sel sur nos côtes de la Méditerranée.

La première opération, constituant le desséchement proprement dit, peut se faire suivant trois méthodes différentes : l'évacuation des eaux par la pente naturelle, lorsque l'état des lieux le permet, leur épuisement par machine, et enfin l'exhaussement du sol par des colmatages successifs, résultant de l'emploi des eaux troubles empruntées aux cours d'eau naturels.

Chacune de ces trois méthodes a donné lieu, selon les circonstances, à des applications nombreuses. Le choix à faire entre elles dépend des conditions locales et du tact de l'ingénieur ; mais, quelle que soit celle à laquelle on s'arrête, le desséchement peut être considéré comme une chose toujours possible, en théorie ; en pratique, ce n'est qu'une question d'argent.

Il en est tout autrement de l'obstacle dû à l'action du sel dont le sol végétal peut se trouver imprégné. Sa présence sur notre littoral du midi équivalait, en l'état, à une impossibilité à peu près absolue de mise en valeur, lorsque nous avons proposé et développé notre méthode rationnelle de dessalement.

Il nous a été donné d'en faire l'essai sur une assez grande échelle. L'Administration nous a fourni les moyens d'appli-

quer nos procédés à la mise en valeur des marais de Vic. L'entreprise n'est malheureusement pas encore assez avancée pour que nous puissions citer des résultats complètement pratiques à l'appui des idées théoriques que nous avons émises. Il s'agissait de travaux d'une nature toute particulière, sans précédents à nous connus, qui demandaient à être menés avec une sage lenteur et une prudente réserve. Des difficultés toutes spéciales, inhérentes à la localité, qu'on rencontrerait rarement ailleurs, ont entravé la marche de l'opération et nous ont parfois même obligé à négliger la question de dessalement, but essentiel de nos recherches, pour nous occuper des questions accessoires du dessèchement et de l'exploitation agricole.

Le marais de Vic, au voisinage du village de ce nom et de la petite ville de Frontignan, fait partie d'une vallée basse et déprimée, comprise entre deux chaînes de hauteurs : la montagne calcaire de la Gardiole au N.O., qui la rattache au continent ; les collines des Aresquiers, qui vers le S.E. la séparent des étangs salés du littoral.

La surface totale de cette cuvette est de 570 hectares. L'altitude des terrains varie entre les côtes — 0,25 et + 0,50, par rapport au niveau moyen de la mer. Un étranglement divise le bassin en deux parties, dont l'une, dans la commune de Frontignan, appartient à une Compagnie de salines et à divers particuliers ; dont l'autre, sauf quelques lambeaux du pourtour usurpés par les riverains, appartient à la commune de Vic. C'est sur une portion seulement de ce dernier marais, sur la parcelle dite de *la Palus*, d'une superficie de 116 hectares, séparée par une limite artificielle des parcelles contiguës de *la Joncasse*, que nous avons eu à opérer.

Le sol meuble constituant la surface du marais est une

craie d'origine complexe. Elle paraît provenir du mélange des vases marines les plus ténues, soulevées par le clapotement des eaux de l'étang, et d'un dépôt opéré sur place par la précipitation[1] des substances calcaires tenues en dissolution dans les eaux de source qui submergent le marais. Ce terrain est dès-lors exclusivement calcaire, contenant, à part le sel, jusqu'à 95 à 98 p. °/₀ de carbonate de chaux et de magnésie, et quelques centièmes seulement d'argile, de silice et autres substances minérales insolubles dans les acides étendus.

La proportion de sel est très-considérable; elle varie avec l'altitude des terrains (LXVII), depuis 0,007 jusqu'à 0,04 en poids des terres analysées.

La nature minérale de ce sol, très-riche en chaux et en phosphate, très-pauvre en alumine et en silice, et surtout en potasse, était faite pour nous inspirer des inquiétudes sur sa valeur agronomique; nous avons été toutefois un peu rassuré à ce sujet, par le résultat de quelques essais de culture, et plus encore par l'analogie de ces terrains avec ceux des palus d'Avignon, dont la composition minérale est absolument la même, et qui n'en sont pas moins très-fertiles.

[1] Cette précipitation a eu lieu à l'état de matière organisée. Lorsque l'évaporation laisse le marais à sec vers le milieu de l'été, le plafond des fossés et les parties les plus basses de la cuvette restent recouverts d'une couche épaisse de débris friables de conferves végétales et de dépouilles d'infusoires, présentant l'aspect d'une poudre blanchâtre, entièrement calcaire, contenant à peine quelques traces de matière organisée qui disparaissent peu à peu par l'effet d'une lente combustion naturelle.

L'observation nous a de plus en plus convaincu que la terre meuble des marais provenait surtout de l'accumulation continue de cette poudre blanche, et il est à présumer que la plupart des terrains de craie ont une origine analogue.

Le sol du marais de Vic rachète d'ailleurs en partie les défauts de sa composition minérale par sa constitution physique. Il est à la fois léger, perméable et très-absorbant, tout en conservant une consistance suffisante. Quelques amendements argileux l'amélioreront sans doute; mais, tel quel, à la condition d'être débarrassé du sel, on ne saurait mettre en doute qu'il ne devienne productif.

Le sol arable, dont l'épaisseur, variant de 1 à 2^{m}, ne dépasse jamais 3^{m}, repose sur une formation sensiblement horizontale de calcaires d'eau douce crevassés et fissurés. Les longues failles qui traversent ce sous-sol se prolongent dans le continent sous le massif de la Gardiole, et pendant la saison des pluies donnent naissance à des sources abondantes, faiblement saumâtres, qui sourdent dans le marais, les unes par de grandes cavités toujours béantes connues sous le nom de *légous*, les autres par une sorte de filtration générale à travers la masse du sol.

Cette circonstance particulière a donné lieu à des difficultés toutes spéciales de dessèchement, a nécessité une étude préalable du régime de ces sources, dont nous n'avons pu nous rendre compte que très à la longue, lorsque nous avons été en possession de moyens suffsants d'épuisements artificiels pour faire varier à volonté le niveau de leurs réservoirs.

La question du dessalement n'a pas été moins complexe. Par suite de l'insuffisance des crédits, — et plus encore de la réserve que nous avions dû nous imposer, dans une affaire toute nouvelle où nous devions nous méfier des idées théoriques préconçues et redouter de fausses manœuvres, — les premiers essais de lessivage, commencés en 1864, n'ont été poussés au début que sur une surface de 25 hectares, avoisinant le bâtiment des machines, à l'extrémité d'aval

du canal de desséchement. Ces terrains ont été promptement amenés à un état de dessalement qui nous a paru suffisant pour tenter quelques essais de culture. Mais la continuation du lavage sur les terrains supérieurs,—toujours dans le sens de l'écoulement,—n'a pas tardé à amener dans le canal de desséchement une quantité considérable d'eaux saumâtres qui, pénétrant par les drains dans un sol soumis à une forte évaporation, ont concentré le sel dans la couche supérieure des terrains défrichés.

En fait, après avoir dessalé en 1864 une surface de 25 hectares, nous n'avons pu nous dispenser de la saler de nouveau en 1865, et l'opération, au point de vue des essais de culture, a été à recommencer.

Nous avions prévu ce résultat ; mais nous n'aurions pu l'éviter qu'en opérant en une seule campagne le drainage et le lessivage de tous les terrains qui devaient être desservis par le canal de desséchement, ce que l'ouverture successive des crédits ne nous aurait en aucun cas permis de faire.

En réalité, malgré ce déplacement accidentel d'une partie des sels du marais, l'œuvre du dessalement total, un moment retardée, n'en est pas moins aujourd'hui très-avancée. Les lessivages, repris avec ensemble pendant l'hiver 1866-67, ont amené un premier résultat qui laisse entrevoir un succès complet dans un avenir très-prochain. La quantité de sel extraite avec les eaux de lavage, et rejetée dans les étangs depuis le commencement des travaux, dépasse 35 000 tonnes. La salure moyenne des terrains de la palus, qui s'élevait encore à 0,0098 au mois de septembre 1866, n'était plus que de 0,0045 en mai 1867. Les essais de culture, qui avaient complètement échoué en 1866, ont donné cette année des résultats encourageants. La ga-

rance et l'avoine ont assez bien réussi, la luzerne et la vigne partiellement.

L'exposé des difficultés que nous avons eu à combattre, des moyens que nous avons employés à cet effet, serait sans contredit d'un grand enseignement pratique. Un moment nous avions songé à rendre compte avec détails, dans cet ouvrage, des travaux que nous avons eu à conduire, des résultats déjà acquis, de ceux que nous pouvons espérer encore.

Nous avons cru cependant devoir différer cette publication. L'ouvrage plus particulièrement théorique que nous avons entrepris aurait sans doute beaucoup à gagner si nous pouvions, à l'appui de notre opinion, invoquer l'exemple précis de résultats pratiques; mais nous ne pourrons le faire que lorsque les travaux en cours d'exécution auront été complètement achevés.

Dans la première partie de ce livre, nous avons déjà utilisé les observations faites aux marais de Vic, pour compléter notre exposé théorique du double phénomène de salement et dessalement des terrains végétaux. Tout nouveau détail à ce sujet serait inutile, et nous croyons devoir ajourner à un autre moment le compte-rendu définitif de l'expérience importante qui se poursuit dans notre service. Les faits acquis démontrent d'autant mieux la justesse des principes généraux sur lesquels repose notre théorie de la mise en valeur des terrains salés, que les conditions et les difficultés locales du marais de Vic se reproduiront très-rarement ailleurs.

Sur la majeure partie des terrains de notre littoral, le sol meuble, en effet, a une épaisseur illimitée; le sous-sol est imperméable ; les eaux de lavage, complètement douces, sont abondantes, du moins pendant une partie de l'année;

conditions qui, si elles ne sont pas toujours indispensables, — le marais de Vic en sera la preuve, — sont tout au moins une garantie certaine de succès sur les lieux où elles se trouvent réunies.

Reprenant la question au point de vue de la généralité qu'elle a eue jusqu'ici, nous aborderons le problème de la mise en valeur de tous les terrains qui, sur le rivage de la Méditerranée, dépendent de l'appareil littoral. Ils forment deux grandes divisions : le delta du Rhône et une série de formations de moindre étendue quant à la surface, mais qui, — sur une très-grande longueur, à l'état d'étangs, de marais, de plages sablonneuses, parfois de petits deltas secondaires, — se prolongent depuis l'extrémité de l'aile droite du delta du Rhône jusqu'au-delà des plaines du Roussillon. Nous nous occuperons en premier lieu du delta du Rhône; nous traiterons ensuite des formations moins importantes qui le suivent, en consacrant parmi ces dernières un chapitre spécial au delta de l'Aude.

XCV.

Nous avons déjà décrit le delta du Rhône (XXXIX), ce vaste triangle dont le sommet est à Arles ou mieux à Beaucaire, et dont la base embrasse sur la Méditerranée un développement de côtes de 80 kilomètres entre les lagunes d'Aigues-Mortes et le golfe de Fos. Cette formation géologique comprend trois parties distinctes : la Camargue, au centre, d'une superficie de 78 000 hectares, et les plaines des deux ailes occupant : 20 000 hectares sur la gauche, 44 000 hectares sur la droite, à l'aval de Saint-Gilles. Si nous joignons à ces derniers terrains les marais de Beaucaire, d'une étendue de 11 000 hectares, nous avons au total une surface de 152 000 hectares.

Ce n'est pas que cette immense région soit en son état actuel partout également propre à une mise en valeur immédiate. Si la majeure partie est formée d'alluvions fluviatiles, il est des points moins privilégiés où les dépôts primitifs ont été remaniés par les flots et les vents, les parties limoneuses entraînées dans la haute mer, les sables siliceux refoulés sur les côtes. C'est surtout à l'extrême droite, aux environs d'Aigues-Mortes, que ces sables s'étendent en dunes infertiles, en plages arides ou noyées d'eaux saumâtres, que la culture pourrait difficilement mettre à profit, que l'industrie a déjà utilisées en partie pour l'installation de salines.

Sur la gauche, d'autre part, on rencontre dans les marais de Fos une surface de 6 000 hectares de terrains tourbeux, infiltrés de sources d'eaux douces ou saumâtres, dont l'assèchement et la mise en culture seraient probablement plus difficiles, beaucoup moins certains et surtout moins avantageux comme produits, que ne l'est en l'état la transformation, en cours de travaux, des marais de Vic. Mais ces conditions défavorables sont exceptionnelles sur l'ensemble des deux ailes du delta et plus encore dans la Camargue, où les dépôts sablonneux ne constituent que quelques taches éparses sans importance.

Cette grande île est le plus beau champ d'expérience qui puisse être choisi pour l'application des méthodes rationnelles que nous avons été amené à formuler comme conséquence de nos études pratiques.

Si l'on s'en rapportait à quelques documents historiques plus ou moins positifs, au temps de la domination Romaine la Camargue aurait été beaucoup plus fertile qu'elle ne l'est de nos jours. Le dépérissement de sa puissance productive pourrait s'expliquer peut-être par l'absence de digues

à cette époque. La superficie de l'île tout entière devait être régulièrement submergée par les crues du fleuve dans des conditions analogues à celles qui assurent la fertilité de la Basse-Égypte. Ces inondations périodiques n'avaient sans doute pas pour effet de débarrasser entièrement le sol du sel qui le rend improductif aujourd'hui ; mais elles en masquaient la présence et pouvaient le refouler dans les couches inférieures, d'où il ne remontait que lentement à la surface. Incessamment rechargés par de nouvelles couches de limon, ces terrains pouvaient avoir une valeur de production très-supérieure à celle qu'ils ont aujourd'hui, bien qu'il nous paraisse difficile d'admettre qu'ils aient jamais constitué un véritable grenier d'abondance, comme le voudrait la tradition.

Depuis les premiers siècles du moyen-âge, la Camargue a été enfermée dans des digues que les efforts des générations successives ont tendu à rendre insubmersibles. Les inondations fécondantes sont devenues moins fréquentes. Rien ne s'est plus opposé à la montée du sel, qui a rendu les terres d'autant plus infertiles qu'on croyait les avoir mieux protégées.

La culture est aujourd'hui reléguée sur les terrains, relativement élevés, qui forment le long des bras du fleuve deux bourrelets de plus en plus étroits, à mesure qu'on s'éloigne davantage du point de bifurcation.

La superficie de ces terres arables ne dépasse pas 14 000 hectares. Le reste de l'île est à peu près désert et improductif, coupé de mares d'eaux saumâtres, d'étangs insalubres, qui interceptent toutes les communications ; sans culture régulière, sans autre végétation que celle des salsolées qui croissent spontanément sur les plages élevées désignées sous le nom de sousouïres, et des plantes palustres qui tour

à tour se renouvellent et se putréfient dans les bas-fonds.

Sur ces vastes solitudes, — en rares troupeaux livrés à eux-mêmes, presque à l'état sauvage, ou sous la conduite d'un gardien rongé par les fièvres, — errent à l'aventure de maigres taureaux, de chétifs chevaux d'espèces spéciales à ces tristes contrées.

Les premiers, improprement nommés taureaux de combat, n'ont d'autre destination que de défrayer les courses pour lesquelles se passionnent les populations rurales voisines du bas Rhône; jeux cruels, dans lesquels la pompe du spectacle ou l'émotion du danger couru par les acteurs ne dissimulent même pas, comme en Espagne, ce que le spectacle a de barbare.

Les chevaux Camargue, sans être exposés aux mêmes mauvais traitements que les taureaux, ne sont pas d'une utilité beaucoup plus réelle. Momentanément enlevés à leurs fangeux pâturages, ils servent, après la moisson, à dépiquer le blé dans les fermes du bas Languedoc, emploi dans lequel la moindre batteuse mécanique les remplacerait avec avantage et économie.

Le sol de la Camargue, d'une nature généralement très-uniforme, se présente dans de bonnes conditions au point de vue de la composition minérale. Il laisse cependant un peu à désirer quant à sa constitution physique, qui en l'état est trop compacte; inconvénient auquel le drainage remédiera complétement. La levigation ne laisse pas déposer plus de 2 à 3 p. °/₀ de sables quartzeux; le reste se compose de limons dont les analyses suivantes, faites au laboratoire de l'École des Ponts-et-chaussées, font connaitre la composition moyenne:

INDICATION de la PROVENANCE DES ÉCHANTILLONS.		Eau hygrométrique.	Matières organiques solubles.	Résidu insoluble dans les acides.	Alumine et peroxyde de fer.	Chaux.	Magnésie.	Chlorure de sodium.	Acides carboniques et produits divers.	TOTAL.
1° Pré du mas Vert		7.85	2.15	48.91	8.42	14.49	0.86	0.14	17.18	100
2° Bord de l'étang de Rousty		8.45	2.55	49.26	10.32	16.33	0.40	0.71	11.98	100
3° Centre du marais de Rousty	haut.	8.85	8.55	44.44	8.92	15.36	0.99	0.17	12.72	100
	bas.	11.25	4.55	47.35	8.95	14.01	0.41	0.34	13.34	100
4° Marais de Saint-Cézaris		12.50	5.30	49.24	8.63	13.17	0.16	0.08	10.92	100
5° Sousouïres du mas Vert		10.45	2.95	43.82	7.62	18.53	0.17	2.17	14.29	100
6° Bord du marais de la grande Mare		10.80	2.40	46.09	8.68	16.32	0.17	0.78	14.76	100
7° Centre id.	haut.	16.75	6.45	42.47	8.85	14.23	0.31	0.54	10.42	100
	bas.	12.85	5.95	50.02	9.34	12.06	1.22	0.57	7.99	100
8° Marais de la Sigoulette	haut.	8.00	25.50	40.97	8.64	10.67	0.34	0.07	6.81	100
	bas.	5.75	4.45	61.60	8.71	9.52	0.54	0.18	9.25	100

La proportion du sel marin est relativement beaucoup moindre que celle que nous avons constatée dans les marais de Vic. Elle est en moyenne de 0,0036 seulement pour les terres submergées, et elle n'atteint que 0,0217 dans la seule terre émergée (échantillon nº 5) qui ait été analysée.

Dans les parties du marais de Vic non lessivées, mais en partie dessalées par de fréquents lavages à l'eau douce continués pendant deux ans, nous trouvons encore au minimum 0,004 de sel pour les terrains submergés et jusqu'à 0,04 dans les terrains hauts.

On reconnaît d'ailleurs, sur les indications du tableau qui précède, que les échantillons de la Camargue ont tous été pris dans des terrains non défrichés et pour la plupart imbibés d'eau, sur lesquels l'évaporation n'a que peu de prise et n'a pu concentrer qu'une faible quantité de sel.

On peut vérifier, en effet, sur les échantillons, qui ont été divisés en deux couches, que la salure est toujours proportionnellement plus forte dans le fond qu'à la surface, ce qui est le propre des terrains immergés. Sur les terrains habituellement découverts, ceux qui sont desséchés et cultivés surtout, nous avons vu (LXVII) que la proportion était inverse, le sel se concentrant toujours dans la couche supérieure par le fait de l'évaporation.

La grande quantité d'eau douce dont la Camargue est habituellement submergée, a eu pour effet de dessaler la surface des marais sur lesquels ont été principalement recueillis les échantillons dont nous venons de reproduire les analyses. La salure des couches inférieures du terrain doit être en général beaucoup plus grande que ne le feraient supposer ces résultats de laboratoire. Notre opinion à cet égard est corroborée par les observations de divers ingénieurs, qui nous ont affirmé avoir trouvé en cer-

tains points des eaux du sous-sol contenant 8 et 10 p. °/₀ de sel.

Ces résultats, en apparence contradictoires, n'ont, ainsi que nous l'avons déjà dit, rien qui ne soit conforme à la théorie. La plus ou moins grande quantité de sel contenu dans le sol importe d'ailleurs assez peu au résultat ; l'essentiel est que cette quantité soit limitée, qu'elle ne puisse être incessamment renouvelée par de nouvelles sources de fond, et sous ce rapport les terres d'alluvion de la Camargue, d'une profondeur indéfinie, doivent nous inspirer pleine sécurité.

XCVI.

De nombreux projets ont été présentés pour l'amélioration de la Camargue ; ils sont tous restés sans autre effet que la consolidation et l'achèvement des digues, qui sont, en principe, peut-être plus nuisibles qu'utiles aux intérêts agricoles. On ne saurait s'étonner de ce résultat négatif. Le concert des intéressés, leurs efforts individuels, seraient nécessaires pour retirer quelque fruit d'un travail entrepris dans un but général d'amélioration, et dans la Camargue, moins que partout ailleurs, on pourrait compter sur l'action énergique des particuliers.

Les terres, sauf peut-être aux environs d'Arles, sont peu morcelées. L'étendue de certains domaines dépasse souvent plusieurs milliers d'hectares. Ils appartiennent en général à de riches propriétaires qui n'habitent pas sur les lieux, n'y vont jamais, ou les regardent tout au plus comme des rendez-vous de chasse bons à visiter une fois l'an. Acceptant l'état actuel des choses, ils se contentent des maigres revenus que ce sol peut produire, en fermages de pêche, de chasse, de pâture. Ils le considèrent, en principe, comme

riche d'avenir, ne voudraient s'en défaire à aucun prix, mais ne songent nullement à faire le moindre sacrifice pour améliorer la situation actuelle. C'est un souci qu'ils se plaisent à transmettre aux générations futures. Nous ne voulons blâmer personne ; ceci n'est point une critique de notre part, mais un fait que nous signalons.

Nous ne ferons pas l'énumération de tous les projets qui ont été mis en avant pour la transformation de la Camargue. Il en est de plus ou moins sérieux. Dans les derniers nous rangerons surtout ceux qui sont basés sur l'emploi des colmatages naturels. Rien ne paraît sans doute plus simple que de mettre à profit, pour l'exhaussement du sol, la masse énorme de limons que charrie le Rhône. Le volume de ses déjections atteint, avons-nous dit, une moyenne annuelle de 17 millions de mètres cubes. Répandu sur toute la surface de la Camargue, il n'en relèverait pourtant pas le niveau de plus de $0^{m},02$ par an ; — et qui pourrait jamais songer à utiliser une partie notable de cette richesse perdue ! Les troubles du Rhône sont dilués dans une masse d'eau égale à trois mille fois leur volume tout au moins. Pour les répandre en proportions quelque peu considérables, il faudrait faire au fleuve d'énormes saignées, ouvrir de larges dérivations dans lesquelles la vitesse serait rendue presque nulle par le défaut de pente, et l'obstacle que la quantité même des eaux déviées opposerait à leur écoulement. Les limons, tenus en suspension, se déposeraient dans les canaux. Le comblement de ces derniers serait bien certainement le seul effet de colmatage qu'on pourrait attendre ; il est le seul qu'on ait obtenu dans tous les essais faits jusqu'à ce jour.

La dérivation des eaux, au point de vue de l'irrigation et de la production de force motrice nécessaire à l'abaissement

des eaux intérieures de la Camargue par voie d'épuisement, est un système beaucoup plus praticable. Parmi les projets présentés en ce sens, nous en citerons deux seulement, celui de M. Surell et celui de M. Bernard. Le premier consisterait à établir sur le petit Rhône un barrage mobile qui, en même temps qu'il permettrait l'irrigation des terres basses, fournirait une force motrice considérable qui pourrait servir à faire refluer les eaux d'arrosage sur les terrains supérieurs, aussi bien qu'à épuiser les cuvettes les plus profondes.

Le projet de M. Bernard, reposant sur un principe analogue, consisterait à établir une dérivation du Rhône qui, partant des environs d'Arles et traversant la Camargue dans toute sa longueur, formerait un troisième Rhône, également destiné à l'arrosage et à l'abaissement du plan d'eau du Valcarès, réceptacle général des eaux de la Camargue. Ce double but serait d'autant mieux atteint que les besoins alternatifs de l'irrigation et du desséchement correspondent à deux saisons différentes, pendant lesquelles le canal pourrait être successivement affecté à l'un ou à l'autre usage.

Quels que soient les avantages et les inconvénients de ces projets, ils pèchent tous par la même base : ils tendent à mettre à la disposition des propriétaires de l'intérieur de la Camargue des facilités et des ressources à tous les points de vue très-inférieures à celles dont jouissent ou pourraient déjà naturellement jouir les propriétaires riverains des bras actuels du fleuve, sans savoir en profiter.

Ils ont en effet, à leur portée, le Rhône pour leur fournir les eaux douces, le Valcarès pour évacuer leurs vidanges. Les niveaux naturels ne sont pas suffisants sans doute ; mais lorsqu'il ne s'agit que de déplacements d'une aussi

faible hauteur et d'un travail très-intermittent, l'emploi de machines à vapeur,—pouvant s'installer en tout lieu, se déplacer à volonté, se prêter à tous les usages,—serait toujours beaucoup plus économique que celui de machines hydrauliques, dont la force motrice devrait être amenée de loin par des ouvrages coûteux.

Une machine d'épuisement, dans le système que nous avons adopté au marais de Vic, mue par une locomobile de 15 chevaux, pouvant fonctionner à tour de rôle pour l'arrosage ou le desséchement, ne coûterait pas plus de 40 000f de frais de premier établissement et de 7 à 8 000f par an de frais d'entretien et de service de toute nature. En travaillant au besoin 20 heures par jour, elle pourrait suffire à élever journellement à 1m,00 de hauteur 50 000 mètres cubes d'eau, soit 1 500 000m en un mois. Cette quantité serait suffisante pour représenter : dans la saison pluvieuse, l'épuisement des eaux zénitales à raison d'une couche de 0m,30 en un mois ; dans la saison sèche, les eaux d'arrosage à raison de 1 litre par seconde et par hectare, sur une superficie totale de 500 hectares. La dépense pour le double service d'arrosage et d'épuisement desservi par machine locomobile ne dépasserait donc pas 20f par hectare, et il n'est pas de syndicat d'irrigation ou de desséchement qui, pour les seuls frais d'entretien des canaux, ceux de premier établissement mis à part, n'impose une redevance plus élevée aux usagers.

Nous raisonnons, il est vrai, dans l'hypothèse que les propriétaires voisins du Rhône, en même temps qu'ils pourraient puiser les eaux d'arrosage dans le fleuve, auraient la faculté de rejeter leurs colatures dans le Valcarès. Or, ce droit serait probablement dénié par les propriétaires du Valcarès, qui, sans contester la servitude à laquelle ils sont

soumis de recevoir les écoulements des eaux naturelles et des arrosages existants, se refuseraient peut-être à toute aggravation de cette servitude résultant d'irrigations nouvelles ou d'épuisements artificiels. Il y aurait là une question de droit à débattre, au pis aller une indemnité à payer aux propriétaires du Valcarès ; indemnité fort minime, si elle était proportionnée au dommage, car le Valcarès n'a pas grande valeur, et, dans l'état où il se trouve, il aurait peut-être plus à gagner qu'à perdre à voir augmenter dans une certaine mesure la masse des eaux qu'on lui envoie.

Le chiffre de cette indemnité éventuelle qu'on aurait à payer pour régler et étendre les servitudes du Valcarès, ne serait, en aucun cas, comparable aux frais énormes d'un établissement hydraulique destiné à fournir de nouvelles facilités d'arrosage et d'épuisement aux propriétaires. Les sacrifices que l'État ferait aujourd'hui dans ce dernier but seraient d'autant plus inutiles que le défaut de communications paralyserait complétement les efforts des propriétaires de la région centrale, quel que fût d'ailleurs leur bon vouloir, quelque faciles et fructueuses que pussent être, au point de vue du rendement agricole, les entreprises d'amélioration qu'ils consentiraient à tenter individuellement.

Ce n'est donc point par le centre de l'île, où tout est à faire, mais par une lisière, où les travaux préparatoires existent déjà, qu'il faudrait commencer la mise en valeur sérieuse et rationnelle de la Camargue. Elle devrait suivre la pente naturelle du terrain, débuter au pied des digues du Rhône, pour se prolonger graduellement sur les marécages du Valcarès, à mesure que le succès des premières entreprises aurait démontré les avantages de leur continuation.

Tant qu'un premier résultat de ce genre n'aura pas été obtenu, qu'il n'existera pas sur l'un des deux bras du Rhône une ou plusieurs exploitations-modèles, donnant le spécimen de ce qu'on pourrait entreprendre avec certitude de succès, il y aurait folie, croyons-nous, à vouloir établir à grands frais des canaux d'irrigation ou des machines hydrauliques d'épuisement, loin des voies naturellement navigables. Ce n'est donc pas un travail d'ensemble, mais une exploitation restreinte que nous voudrions voir essayer en Camargue. Nulle région ne serait plus propre à l'application des procédés de mise en valeur des terres salées que nous avons exposés d'une manière générale, et qu'il nous a été donné de mettre en pratique dans des circonstances locales malheureusement peu favorables.

Nous n'aurions plus en effet à lutter ici contre les difficultés qui ont momentanément ajourné le résultat des travaux entrepris au marais de Vic. Qualité du sol et des eaux, imperméabilité complète du sous-sol, sont des conditions essentielles que nous trouvons réunies sur tout le territoire de la Camargue.

Le travail préliminaire à la mise en valeur, le dessèchement proprement dit, est d'ailleurs chose faite depuis longtemps. Sauf le cas, de plus en plus rare, de submersions accidentelles provenant d'une rupture des digues, la Camargue peut être considérée comme entièrement à l'abri des inondations extérieures, du côté du fleuve comme du côté de la mer.

Elle ne reçoit que les eaux pluviales, contre lesquelles nous avons vu qu'il est toujours possible de se défendre par des moyens artificiels très-peu coûteux.

XCVII.

Pour fixer les idées et spécifier les conditions dans lesquelles il serait possible d'arriver à la mise en valeur de la Camargue, nous essayerons d'esquisser le programme d'une entreprise particulière, telle qu'il nous paraîtrait convenable de la tenter. Sans nous arrêter au simple exposé des travaux techniques ayant en vue le dessèchement et le dessalement, nous embrasserons la question dans toute sa généralité, en étudiant tout ce qui se rattache aux pratiques agricoles de l'exploitation.

Dans cet ordre d'idées, nous nous supposerons (*Pl.* III, *fig.* 6) sur un terrain adossé aux digues du Rhône,—dans la partie moyenne de l'île aux environs de Chamone, par exemple, sur le bras gauche; dans les terrains du château d'Avignon, sur le bras droit,—en des points où il n'existe à peu près aucune culture régulière.

Le terrain choisi aurait une superficie de 400 hectares, se prolongeant sur 2 000^{m} le long de la digue du Rhône, s'étendant sur une largeur égale normalement au fleuve.

Le carré ainsi déterminé aurait une pente transversale de 1^{m}, correspondant à des cotes de hauteur de + 1^{m},50 et de + 0^{m},50 aux deux extrémités; le niveau du fleuve dans les basses eaux d'étiage étant supposé à la cote + 0^{m},25.

Nous admettrons enfin que le propriétaire ait la faculté de prendre au Rhône les eaux d'arrosage qui lui seront nécessaires, et d'évacuer à volonté ses eaux de vidange dans le réservoir commun du Valcarès.

Si l'on avait affaire à un terrain sensiblement horizontal, ainsi que le cas s'est à peu près présenté au marais de Vic,

une seule machine pourrait à la rigueur, sans déplacement du moteur, sans autre manœuvre qu'un jeu de vannes, servir à la fois à l'irrigation et au desséchement. Elle se composerait d'un tympan mu par une locomobile. Son puisard pourrait tour à tour être mis en communication avec quatre canaux différents qui seraient : le canal de desséchement principal établi suivant l'axe du polder, le canal de fuite qui à un niveau différent conduirait les eaux de vidange dans le Valcarès, et enfin les deux branches du canal d'irrigation enveloppant le domaine.

Cette disposition pourrait être avantageusement conservée, dans les parties centrales de la Camargue, sur l'emplacement des marais, dont le sol est sensiblement de niveau. Mais, par suite de la pente transversale existant par hypothèse dans les terrains adossés aux chaussées du Rhône, elle aurait, dans l'exemple que nous avons choisi, le sérieux inconvénient de nous obliger à établir les berges du canal d'irrigation à une hauteur uniforme, ce qui serait à la fois coûteux et gênant pour le service.

Nous admettrons donc deux machines élévatoires distinctes, sauf à les faire mouvoir alternativement par la même locomobile, qui, suivant les besoins, pourrait être conduite d'une extrémité à l'autre de l'enceinte.

La machine d'irrigation serait placée près du Rhône, la machine d'épuisement en regard, à l'origine du canal de fuite extérieur.

Le canal d'irrigation se composerait d'une prise unique dérivée du Rhône, dont les eaux, relevées au besoin par la machine, seraient portées à volonté dans l'une ou l'autre des deux branches principales entourant le polder du marais et formant sa clôture extérieure.

Le plafond de ces canaux serait établi à 0^{m},75 en contre-

bas du terrain naturel, dont il suivrait la pente moyenne. Les berges latérales seraient à 0m,75 en contre-haut de ce même terrain.

La portée du canal d'enceinte supposé rempli à 0m,50 en contre-bas de ses berges, soit à 0m,25 en contre-haut des terres à arroser, avec une pente de 0m,33 par kilomètre à la surface, pourrait à la rigueur atteindre 2m,50 à la seconde. Une quantité moindre serait sans doute suffisante, mais il faudrait faire la part des réductions de débit théorique que le développement de la végétation produirait dans les canaux.

Le canal principal de desséchement, normal au Rhône dans l'axe du polder, aurait 3m de largeur en cuvette avec des talus à 3/2 de base. Son plafond serait établi de niveau à 2m en dessous des points les plus bas du terrain, soit à la côte — 1,50.

Le canal de fuite, dans lequel la machine d'épuisement refoulerait les eaux de vidange, aurait des dimensions indéterminées qui dépendraient des conditions d'écoulement du terrain dans son état naturel.

Normalement au canal principal de desséchement intérieur, et de 500 en 500m, il serait établi des canaux secondaires ayant même cote de fond et même inclinaison de talus, avec une largeur au plafond réduite de 3m à 1m.

Les terres provenant de l'ouverture de tous les canaux seraient en partie retroussées en bourrelets saillants de 0,40 à 0m,50 de hauteur, formant autant de chemins d'une largeur régulière de 4m, — qui serviraient à l'exploitation du sol, en même temps qu'à la séparation des tables de submersion.

Les quatre chemins normaux au Rhône seraient continués sur toute leur longueur. Ceux qui longeraient le canal prin-

cipal de dessèchement se poursuivraient à cet effet sur la traversée des canaux secondaires. La communication pourrait être à volonté établie ou interceptée entre ces canaux par une buse en poterie munie d'une martellière.

Le terrain se trouverait ainsi découpé en rectangles uniformes ayant, largeur des canaux et des chemins comprise, 1 000m de longueur sur 500m de largeur. De nouveaux tronçons de chemins longitudinaux, régnant seulement d'un canal transversal à l'autre, sans se continuer à leur traversée, diviseraient finalement le polder en carrés parfaitement égaux.

Nous désignerons sous le nom de *partènements*, usité pour des divisions analogues dans les marais salants, ces carrés réguliers dont la surface, qui d'axe en axe serait de 25 hectares, se trouverait par le fait réduite à 22 hectares environ, après déduction des canaux et chemins.

Dans l'enceinte de chaque partènement, le sol devrait être soigneusement nivelé.

Les tuyaux de drainage, destinés au dessalement et plus tard au prompt assèchement du sol, seraient placés à 10m de distance et à une profondeur minimum de 1m au-dessous de la surface. Ils seraient inclinés à 45° sur l'ensemble de deux collecteurs, dont l'un serait parallèle, l'autre perpendiculaire au canal transversal, dans lequel ils viendraient déboucher par une seule issue.

Un petit bourrelet saillant régnerait au besoin sur la séparation des deux versants souterrains contigus entre lesquels serait divisé le sol de chaque partènement.

Rien ne serait dès-lors plus aisé que d'arroser et de submerger à volonté les deux réseaux en regard de deux partènements différents, formant en quelque sorte le bassin d'un même canal secondaire. Une fois le sol de ces deux

demi-partènements convenablement imbibé, il suffirait d'ouvrir la vantelle existant à l'extrémité du canal secondaire, pour évacuer les eaux chargées de sel dans le grand canal et les ramener au puisard d'aval, d'où elles pourraient être rejetées dans le Valcarès.

On continuerait ces lessivages jusqu'au moment où les eaux douces du Rhône, répandues à la surface du sol, ne donneraient plus que des traces insignifiantes de sel à la sortie des drains. En ce moment l'opération ne serait peut-être pas entièrement terminée; il pourrait rester dans les parties les plus compactes et les plus imperméables du sol, une certaine quantité de sel dont on aurait à se débarrasser à la longue.

Une fois à ce point, où le lessivage serait à peu près sans action, on défricherait et préparerait le sol par une série de labours convenables. Pendant la durée de tout un été, on s'abstiendrait ensuite de toute irrigation, pour faciliter l'insolation du sol et la destruction des herbes palustres dont les germes ou les racines auraient résisté aux premiers labours.

Dès la fin de l'automne, on terminerait l'opération du dessalement par un dernier et vigoureux lessivage qui entraînerait les dernières traces de sel. Au commencement du printemps, les terrains se trouveraient parfaitement préparés et pourraient être livrés à la culture.

En prenant pour base de nos évaluations les dépenses faites au marais de Vic pour des travaux analogues, nous pouvons nous rendre un compte très-approximatif de ce que coûterait, en frais de premier établissement, l'installation des ouvrages que nous venons de décrire, et la double opération du dessalement du sol et de sa préparation complète jusqu'à la mise en culture.

Valeur ou prix d'achat de 400 hectares de terrains salés de Camargue à 250f		100 000f
Vanne et canal de prise d'eau	15 000f	
Terrassements généraux pour digues et canaux d'irrigation ou de ceinture, 240 000m à 0f 40	96 000	
2 machines élévatoires d'épuisement et d'irrigation	40 000	300 000
1 locomobile de 15 chevaux	12 000	
Drainage de 360 hectares à 300f	108 000	
Vannes, aqueducs, ponts de service	29 000	
Nivellement du sol 360 hectares, à 50f	18 000	
Défrichement comprenant l'extirpation des végétaux palustres, et deux labours à 200f l'hectare	72 000	90 000
Bâtiments d'exploitation		75 000
Outillage		30 000
Service de la machine pendant quatre ans		32 000
Conduite des travaux, faux frais et dépenses imprévues		53 000
TOTAL		700 000f
Intérêts perdus pendant une moyenne de trois ans		100 000
TOTAL du capital engagé		800 000f

A ce prix on obtiendrait, déduction faite de l'emplacement des canaux et chemins, une surface nette de 360 hectares d'excellents terrains en plein état de rapport, parfaitement drainés, dessalés et défrichés, pouvant être à volonté asséchés ou arrosés, soit superficiellement, soit souterrainement, sans autres frais spéciaux que le service de la machine, dont les frais annuels ne dépasseraient pas 8 000f.

De tels terrains propres à la culture des céréales, des

plantes fourragères et de la vigne, à proximité de grands centres de consommation, tels que Marseille, Nimes, Avignon, seraient d'une valeur certainement égale à celle des meilleures terres du bas Languedoc, qui se vendent 8 et 10 000f l'hectare. Nous resterons donc bien au-dessous de la vérité en les estimant à 5 000f en capital, en admettant qu'ils donneront un produit net calculé à 5 p. °/o de cette somme. Déduction faite des 8000f comptés pour service et entretien des machines, le revenu des 360 hectares en valeur s'élèverait à 82 000f, soit plus de 10 p. °/o du capital engagé.

XCVIII.

Les chiffres qui précèdent paraîtront peut-être hypothétiques. Nous les croyons cependant, comme dépenses, plutôt au-dessus qu'au-dessous de la réalité, car ils reposent sur la comparaison de ce que nous avons eu à dépenser au marais de Vic, où, travaillant au jour le jour, sans plan bien arrêté d'avance, nous avons été exposé à quelques fausses manœuvres, et avons eu à subir toutes les exigences d'ouvriers étrangers à la localité.

Nous avons de plus raisonné dans l'hypothèse que tous les travaux seraient faits de main d'homme, sans employer les machines à un autre usage qu'à celui du desséchement et du dessalement.

Ainsi que nous l'avons déjà dit ailleurs, on pourrait réaliser des économies très-considérables, tant sur les frais de premier établissement que sur ceux d'exploitation, en employant les machines aux drainages, aux labours, peut-être même à quelques travaux de terrassement.

En dépit de tous les encouragements offerts dans les concours officiels, les machines à vapeur n'ont jusqu'ici rendu

que peu de services en agriculture. On ne saurait s'en étonner, car elles exigent des conditions de régularité et d'uniformité de travail qu'il serait difficile de rencontrer dans la pratique ordinaire sur des terrains morcelés, de niveau variable, coupés par des chemins et des fossés de directions différentes.

Il doit en être, quant à l'emploi des machines, de l'agriculture comme de toutes les autres industries. On ne saurait pas plus adapter les moteurs à vapeur aux conditions actuelles de notre sol arable, qu'on n'a pu les employer à mettre en jeu les vieux métiers de nos tisserands. Bâtiments et engins de travail, il a tout fallu refaire à neuf en industrie. La même transformation serait nécessaire si l'on voulait sérieusement employer les moteurs industriels au service de l'agriculture.

Les divisions du sol, les méthodes agricoles, devraient être refondues de fond en comble. Ce qui, en l'état, paraîtrait chose à peu près impossible pour nos bonnes terres arables, serait au contraire une opération des plus faciles sur le sol neuf et vierge des marais de la Camargue.

Nous avons vu combien il serait aisé d'en diviser le sol en partènements de surface égale, d'un niveau uniforme, sur lesquels les frais généraux de l'installation des machines seraient couverts par la nécessité du service spécial d'irrigation et d'assèchement qu'elles auraient à faire.

Nous laissons de côté la question des terrassements pour digues et canaux, admettant qu'ils seront exécutés, comme ceux de Vic, par les ouvriers des localités voisines. Ils ont une aptitude toute spéciale pour ce genre de travail, et certainement pourront, tout en gagnant des journées de 4 à 5f, l'effectuer à la pelle à des prix inférieurs, en moyenne, à celui de 0f,40 par mètre cube, sur lequel nous avons compté dans nos évaluations.

Le premier emploi des machines pourra avoir lieu pour la pose des tuyaux de drainage. De tous les systèmes qui ont été proposés et essayés pour ce travail, celui qui a toujours été cité comme le plus parfait est celui de l'Anglais Fowler.

Son appareil, décrit dans l'excellent traité de M. Barral, se compose d'un simple coutre vertical d'une très-grande puissance, entraîné dans le sens de la ligne des drains à poser par une machine locomobile de 12 à 15 chevaux, placée en dehors du champ.

L'instrument fend le sol à la profondeur voulue, en perforant à sa base une gaine dans laquelle s'opère à mesure la pose définitive des drains enfilés sur une corde par tronçons de 40 à 50^{m}, sans tranchée, sans mouvement de terre extérieur autre que celui qui est nécessaire pour réunir entre eux les divers tronçons d'une même file.

Toutes les personnes qui ont vu fonctionner cette machine dans les concours, ont été unanimes à rendre justice à la perfection du travail, à la grande économie de temps et d'argent qu'elle permettrait de réaliser. Les objections ont toujours porté sur les difficultés que l'on trouverait à faire manœuvrer cet appareil dans un sol qui ne serait pas parfaitement meuble, qui contiendrait des pierres ou des couches dures, sur les inconvénients résultant d'un travail morcelé ou des inégalités de relief du terrain.

Ces objections, dont on ne saurait nier l'importance dans les conditions habituelles de la culture, tombent d'elles-mêmes dans les circonstances spéciales où nous nous trouvons placé. Il est bien évident, en effet, que les terrains de la Camargue, par l'épaisseur indéfinie de leur surface végétale exempte de cailloux et de galets, par leur horizontalité parfaite, par la symétrie des chemins de service,

constitueraient un emplacement idéal pour l'emploi de la machine Fowler. Grâce à elle, la pose des drains, qui, faite à la main, coûte en moyenne de 0f,20 à 0f,25 le mètre dans nos contrées méridionales, pourrait se faire pour 0f,07 à 0f,08, et peut-être à moins. En installant un atelier de fabrication spécial, on pourrait également réaliser une économie notable sur le prix des drains, qui nous coûtent de 0f,10 à 0f,12 le mètre courant, et qui pourraient être fabriqués sur place à bien meilleur marché. Somme toute, la dépense de cet article, portée à plus de 100 000f dans nos évaluations précédentes, pourrait être diminuée de plus de moitié.

Sous ce rapport, les machines pourraient donc réaliser une réduction incontestable dans les frais de premier établissement; mais c'est surtout dans leur emploi permanent aux travaux agricoles proprement dits, à la préparation des terres par les labours, les hersages, etc., qu'elles rendraient de grands services. Sur plusieurs points de l'Angleterre, les machines agricoles fonctionnent déjà régulièrement. Il ne s'agirait que d'en généraliser l'emploi chez nous; et par les mêmes motifs que nous venons d'exposer pour le drainage, on comprend quels avantages et quelles facilités relatives devrait offrir à leur usage le sol sur lequel nous nous supposons placé.

Après d'inutiles essais pour l'adapter à la charrue elle-même, tout le monde est aujourd'hui d'accord pour reconnaître que le moteur doit rester immobile, agissant comme machine fixe pendant un temps plus ou moins long. La transmission du mouvement s'opère toujours par des cables; mais, à cet égard, deux systèmes sont en présence. Nous les désignerons par les noms d'Howard et de Fowler, les industriels anglais qui les ont tour à tour proposés.

Dans le système Howard, la locomobile motrice étant isolée en un coin du champ, la charrue est insérée au milieu d'un cable qui peut à volonté s'enrouler ou se dérouler par ses extrémités sur deux tambours commandés par la machine.

Le cable portant sur des poulies de renvoi fait le tour du champ. La charrue est munie de deux rangées de socs pouvant basculer de manière à ce qu'elle agisse alternativement dans les deux sens opposés.

Chaque fois que la charrue atteint l'extrémité d'un sillon, on déplace les poulies d'angle parallèlement à elles-mêmes, et l'on recommence un sillon plus rapproché, en renversant le sens de l'enroulement des cables.

La charrue va sans cesse en se rapprochant du moteur, sur les deux tambours duquel les cables se trouvent complètement enroulés à la fin de l'opération.

Dans le système Fowler, il n'y a plus de poulies d'angle. Le cable d'attache ne fait plus le tour du champ ; il porte par un bout sur un tambour fixé à la locomobile même, par l'autre sur une poulie de renvoi, ou mieux sur le tambour d'une seconde locomobile parallèle à la première.

Les moteurs conjugués se déplacent après chaque sillon, soit en se mouvant d'eux-mêmes, soit en se halant sur une ancre fixe. La charrue, toujours munie d'un double rang de socs à bascule, fait indéfiniment la navette de l'un à l'autre moteur, traçant à chaque allée ou venue une rangée de sillons parallèles.

Ce dernier système est sans contredit de beaucoup préférable au premier. Il comporte une bien moins grande complication de cables et de poulies pour support ou pour renvoi. La supériorité du principe sur lequel il repose est si incontestable, qu'elle a été reconnue par Howard lui-

même. Dans un concours récent, ce mécanicien a présenté un nouveau système basé, comme celui de Fowler, sur l'emploi de deux locomobiles ; mais ces machines sont munies de deux tambours sur lesquels les deux cables s'enroulent et se dévident alternativement. Leur travail devient ainsi continu, chacune d'elles attirant un appareil aratoire distinct qui passe successivement de l'une à l'autre. De là un travail double, représentant un labour de 7 à à 10 hectares par jour, sans poulies de renvoi ou organes intermédiaires de transmission. Le système Fowler ainsi perfectionné serait d'une application à peu près impossible dans les conditions anormales de la culture ordinaire, car le mouvement régulier des deux locomobiles conjuguées paraît impliquer l'existence de chemins parallèles sur lesquels elles puissent se mouvoir. Il fonctionnerait, au contraire, dans les conditions les plus favorables sur notre domaine type, découpé à angles droits par des chemins espacés à 500m les uns des autres dans tous les sens[1].

XCIX.

On a beaucoup contesté les prix de revient du labourage à vapeur avancés par les inventeurs ou vérifiés dans des expériences faites devant des commissions officielles. On conçoit en effet combien doivent être vagues et hypothétiques ces chiffres déduits de quelques essais de courte durée, faits dans des circonstances toutes particulières.

Il nous paraîtrait cependant possible de nous rendre un compte approximatif des avantages économiques que l'em-

[1] Voir des détails sur les labours à vapeur dans le journal d'*Agriculture pratique* (janvier et février 1865.)

ploi de la vapeur pourrait avoir sur les moteurs animés, en fait de travaux agricoles, dans les conditions exceptionnelles où se trouverait placée notre exploitation.

Deux locomobiles de 15 chevaux chacune, agissant alternativement aux deux extrémités d'un cable de 500m porté par quatre poulies de support intermédiaires, produiraient un effort de traction qu'on ne saurait évaluer à moins des deux tiers de la force brute, soit à 20 chevaux vapeur ou 1500 kilogrammètres par seconde, représentant, pour dix heures de travail, une force effective de 54 000 dynamies de 1 000 kilogrammètres chacune.

La dépense par jour de travail de l'appareil pourrait s'estimer ainsi :

Salaire de deux mécaniciens	10f,00
Consommation de charbon à raison de 4 kil. par heure et par cheval pour chaque machine : 1 200 kil. à 30f la tonne	36 00
Salaire de deux laboureurs	7 00
Idem de 4 enfants à la manœuvre des poulies	8 00
Huile et fournitures accessoires	1 50
Eau (à aspirer le plus souvent directement et sans frais dans les canaux longeant les chemins)	1 50
Entretien et remplacement des machines	16 00
Total	80f,00

soit 0f,0015 par dynamie de travail effectif.

Dans les conditions exceptionnelles où nous nous trouvons au marais de Vic, une paire de bœufs de labour, laboureur compris, coûte en location 10f par journée de travail de sept heures au plus. Le travail développé par un bœuf ne saurait être porté à plus de 30 kilogrammètres par seconde, ce qui, pour les deux, travaillant sept heures, représente un effort journalier de 1 512 dynamies. L'unité

de travail revient donc à 0f,0060, est par conséquent quatre fois plus considérable que celle du travail à la vapeur.

Deux bœufs labourant à une profondeur moyenne de 0m,20 dans les terrains légers du marais de Vic, ne font pas plus de 20 ares de labour par jour, ce qui fait revenir le prix de l'hectare à 50f. Deux locomobiles fonctionnant de concert dans le système que nous venons d'indiquer, feraient aisément 35 fois le même travail, soit 7 hectares par jour, au prix moyen de 12f,00 l'hectare, résultat qui du reste correspond assez bien à celui qui a été obtenu dans les expériences officielles des concours.

On nous objectera que le prix de 10f par jour pour un attelage de deux bœufs conduits par un laboureur est excessif, et que nous obtiendrions des conditions bien moins onéreuses si, au lieu de louer nos animaux de labour, nous nous trouvions en mesure de les acheter. Au prix où sont aujourd'hui les fourrages dans le midi, et où ils se maintiendront sans aucun doute encore longtemps, l'économie serait en réalité fort minime. En tenant compte des jours de fête, des repos obligatoires, des chômages par mauvais temps, nous croyons qu'on s'avancerait beaucoup en la portant à 25 p. °/₀ de nos évaluations, et réduisant par suite à 7f,50 le prix du couple de moteurs animés. Retranchant encore 1f,50 pour la valeur du fumier produit, nous arriverons finalement à une dépense effective de 6f,00 par jour au minimum[1] pour un travail 35 fois moindre que celui

[1] Ces prix de 7 et 8f sont sans doute encore supérieurs à ce que coûte habituellement une journée d'attelage à deux bœufs ; mais nous ne sommes pas dans les conditions d'une exploitation ordinaire. Nous nous supposons en Camargue, dans un pays sans population sédentaire, insalubre, où l'on ne saurait attirer des ouvriers étrangers sans l'appât d'un salaire élevé. Nos bases d'évaluation doivent être comparables.

qui serait fait par les machines au prix de 80f. Le travail des moteurs animés resterait encore deux fois et demie plus cher au moins que celui des locomobiles, et nous croyons que c'est sur cette base qu'il faudrait raisonnablement compter.

La terre arable, pour être maintenue dans un bon état de production, exige en labours ou hersages la valeur de trois façons moyennes. En admettant un assolement convenable des terrains de la Camargue, qui paraîtrait comporter moitié du terrain en prairies ou cultures non labourées, le travail annuel sur 360 hectares en valeur représenterait une façon de 540 hectares, à laquelle deux machines suffiraient en 80 jours de travail. Déduisant de l'année totale 60 jours de fête, il resterait encore 220 jours disponibles, plus que suffisants pour les épuisements, dont le service principal coïnciderait précisement avec les périodes des pluies pendant lesquelles on ne pourrait s'occuper des façons du sol.

Deux locomobiles suffiraient donc à la rigueur aux travaux d'exploitation agricole et au dessèchement; mais il faudrait en outre faire face au service des irrigations, dont l'époque correspondrait parfois à celle des labours,—et se réserver encore la possibilité de faire réparer alternativement les locomobiles. Il nous paraîtrait dès-lors indispensable d'en avoir une troisième, dont le travail serait intermittent.

La machine servant spécialement à l'arrosage serait installée en regard de la machine d'épuisement, en amont de la

Dans le prix de revient du travail des machines, nous avons porté les mécaniciens à 5f, les laboureurs à 3f,50, les enfants à 2f par jour. Proportionnellement, le prix de 7 à 8f la journée de deux bœufs, conducteur compris, n'a rien d'exagéré.

bifurcation du canal d'arrosage. Son tympan serait établi de manière à produire son maximum d'effet pour une élévation correspondant à la différence de niveau entre la prise à l'étiage + 0,25 et la hauteur moyenne du terrain à arroser + 1,00, soit une élévation de 0^m,75 que nous porterons à 1^m,00 pour tenir compte des pentes perdues. Il est bien entendu d'ailleurs qu'avec une légère augmentation d'exhaussement et une moindre vitesse ou un moindre plongement, on pourrait toujours élever les eaux au niveau des terrains supérieurs supposés à la cote + 1,50.

La machine d'épuisement devrait être installée pour produire son maximum de travail dans l'hypothèse où les eaux, —étant maintenues dans le canal de dessèchement à 0,75 en dessous des points les plus bas du sol, soit à la cote — 0,25, — devraient être élevées à la cote + 0,75, suffisante pour les rejeter dans l'étang du Valcarès avec une dénivellation de 1^m,00 environ.

La même locomobile pourrait alternativement suffire aux deux services. Pendant la durée des arrosages, en effet, on n'aurait d'autre épuisement à faire que ceux des eaux de colature, qui, par un simple jeu de vannes, pourraient être reprises par la même machine et déversées dans le canal d'irrigation, si ces eaux sont complètement douces, ou rejetées dans le Rhône, si elles sont saumâtres. Le service des arrosages dure en moyenne trois ou quatre mois au plus. Il exigerait par semaine et par hectare un volume de 600 mètres cubes. La machine d'amont, fonctionnant avec une double destination, élèverait, comme nous venons de le dire, les eaux d'irrigation, en même temps qu'elle évacuerait les eaux de colature, que nous pouvons évaluer à moitié des premières.

La quantité d'eau à déplacer serait donc de 900^m par

semaine pour un hectare, soit un peu moins de 12 000^m pour la saison totale. En admettant que l'assolement annuel comportât l'arrosage complet de la moitié des terrains, le cube total à déplacer s'élèverait à 2 160 000^m. La hauteur moyenne d'élévation étant de 1^m,00, nous aurions à produire un effort de 2 160 000 dynamies représentant, à raison de 27 000 dynamies par journée de dix heures, un travail annuel de 80 jours et une dépense qui ne dépasserait pas 2,400^f ; car le travail journalier d'une machine, pour frais de mécanicien, charbon, entretien , etc., coûterait à peine 30^f.

En résumé, l'adjonction d'une troisième locomobile permettrait largement de faire face à tous les besoins du triple service de l'épuisement, de l'arrosage et des travaux agricoles, sans que l'un d'eux pût jamais nuire aux deux autres.

L'emploi des machines à vapeur au labourage n'aurait pas seulement pour effet de réaliser une économie de moitié sur le travail, tout en utilisant un matériel qui, sans cette précaution, chômerait pendant six à sept mois de l'année. Cette combinaison aurait en outre le grand avantage de réduire dans de très-fortes proportions le personnel d'exploitation, circonstance des plus importantes dans des contrées qui pendant longtemps encore sont destinées à rester insalubres.

La question d'humanité, plus encore que celle d'économie, fait un devoir de limiter la main-d'œuvre au strict nécessaire, d'employer peu d'ouvriers , bien payés , bien nourris, dirigeant autant que possible un outillage perfectionné, dont les muscles de fer et d'acier n'aient rien à redouter des émanations paludéennes du voisinage et des maladies qu'engendrent toujours les nouveaux défrichements.

L'installation d'un système complet de machines pour les travaux agricoles réduirait les frais de premier établissement en même temps que ceux d'entretien.

En effet, d'un côté nous n'aurions à ajouter aux dépenses pour achat de deux nouvelles locomobiles et d'un outillage spécial qu'une somme de 40,000^f.

D'autre part nous aurions à déduire :

Pour économie de moitié dans le drainage...........	54,000^f
— — dans les frais spéciaux de nivellement du sol et des trois labours compris dans le desséchement....	36,000
Pour réduction dans le cheptel, au minimum, ci......	10,000
Total...............	100,000^f

Les frais de premier établissement seraient donc réduits de plus de 60 000^f. Quant aux bénéfices annuels, portés à 82 000^f dans notre première évaluation, ils devraient être augmentés de 15 à 16 000^f, représentant une économie des 3/5 dans les frais de labour des terres arables, qu'on ne saurait estimer, avec l'emploi des moteurs animés, à moins de 150^f par hectare, soit 27 000^f pour une superficie de 180 hectares. Le produit net s'élèverait donc à 98 000^f pour un capital engagé de 740 000^f, soit à plus de 13 p. %.

En embrassant la question sous ces divers points de vue des détails de l'exploitation, il serait puéril de notre part de vouloir préciser avec trop d'exactitude les résultats financiers de l'opération. Ils dépendront nécessairement de l'habileté et du savoir théorique ou pratique du directeur des travaux. Tout ce que nous pouvons dire à cet égard, c'est que dans les conditions exceptionnelles de fertilité et d'excellent aménagement où se trouverait le sol préparé comme nous venons de l'indiquer, ces résultats seraient

très-considérables et qu'il y aurait lieu de s'étonner si, finalement, ils ne donnaient pas un produit de 10 à 15 p. % du capital employé.

C.

Nous n'ignorons pas que nos affirmations sur la question qui précède trouveront beaucoup d'incrédules, et que nous serions fort mal accueilli par les propriétaires de la Camargue, dont plusieurs comptent par milliers d'hectares la superficie de leurs domaines, si nous les engagions à porter sur une surface restreinte de 400 hectares un capital neuf ou dix fois supérieur à la valeur actuelle du total de leurs propriétés. Et cependant, éclairé par l'expérience de ce que nous avons pu faire incomplètement ailleurs, dans des conditions relativement défavorables, nous n'hésiterions pas à proposer l'entreprise à ceux qui auraient assez de confiance en nous, à l'exécuter pour notre propre compte, si nos ressources personnelles nous le permettaient

Quelles que soient à cet égard nos convictions, nous ne nous flattons pas cependant qu'elles soient de longtemps partagées par ceux que la question intéresse plus directement. Mais à défaut de l'initiative des particuliers, dont nous ne saurions blâmer la prudence craintive, l'affaire présente un caractère d'utilité assez incontestable pour qu'on puisse espérer que tôt ou tard l'État ou le département hasarderont l'installation, à leur compte, d'une exploitation modèle, devant servir de spécimen aux propriétaires de la Camargue. Nul doute que la réussite de l'entreprise, à nos yeux assurée, ne fût le point de départ d'une série d'exploitations analogues, tracées sur le même patron, dont le circuit envelopperait tout le pourtour des terrains de la

Camargue, sur une profondeur moyenne de 2 kilomètres. Le succès aidant, en avant de cette première zone on serait naturellement amené à en ajouter une et plusieurs autres, jusqu'au jour où l'île entière, le Valcarès compris, verrait ses landes stériles, ses marécages insalubres, céder peu à peu la place à des terres d'une très-grande fertilité.

La première fois que nous avons proposé l'application d'une méthode rationnelle de dessalement et de mise en valeur, destinée à faire réussir les cultures productives sur les sols marécageux et salés dont la présence infecte et déshonore notre littoral, nous avions émis l'opinion qu'il serait nécessaire de réunir en un seul domaine tous les marais d'un même bassin. La condition est indispensable pour une cuvette de dimensions restreintes, dont toutes les parties sont solidaires, comme le sont celles des marais de Vic. Mais sur les immenses solitudes de la Camargue, que les digues du Rhône mettent déjà à l'abri des submersions extérieures, il ne serait nullement nécessaire de concentrer en une seule main l'exploitation des terrains de toute l'île, dont la surface atteint 78 000 hectares.

Des domaines analogues à celui dont nous venons d'esquisser le type, pourraient se grouper côte à côte, sans plus d'inconvénients qu'on n'en trouve, dans nos villes, à répartir la population dans des maisons séparées, au lieu de la parquer dans un seul et même phalanstère. Chacun de ces domaines, dans son périmètre plus ou moins restreint, conserverait une indépendance absolue quant à l'exploitation. Il ne serait nécessaire de les relier l'un à l'autre que pour les travaux d'ensemble, chemins d'exploitation, canaux d'arrosage, de vidange ou autres, que l'intérêt commun pourrait exiger.

Il serait bien évidemment prématuré de notre part de

vouloir indiquer à l'avance en quoi consisteraient ces travaux, dans quelle part l'État pourrait contribuer à leur établissement.

Nous avons cru devoir nous borner à montrer le résultat vers lequel on doit tendre, les moyens qui peuvent y conduire. Le rôle essentiel de l'Administration supérieure, dont on ne saurait méconnaître le désir d'arriver à la mise en valeur de la Camargue, devrait être bien moins de dépenser des millions en grand nombre, pour donner aux propriétaires des facilités nouvelles d'arrosage et d'épuisement dont ils n'useraient pas, que de leur montrer comment ils pourraient mettre à profit celles qui sont déjà à leur disposition. L'exécution d'un projet type, encouragé, au besoin même entrepris par l'État, en montrant aux particuliers un but bien déterminé, ne saurait manquer de stimuler leur zèle et de les amener à imiter l'exemple placé sous leurs yeux, ou à s'associer pour l'exécution des travaux d'ensemble reconnus nécessaires.

La transformation radicale de la Camargue, l'installation sur ce sol, jusqu'à ce jour déshérité, des cultures les plus productives, ne sauraient être à nos yeux qu'une affaire de temps. Quelle influence l'ouvrage théorique que nous publions aura-t-il sur le résultat? Nous l'ignorons. Peut être notre nom sera-t-il oublié depuis longtemps au jour du succès! Peu importe; la question d'avenir est pour nous indépendante de la question de personne. L'essentiel est que tôt ou tard l'idée triomphe, et elle triomphera, car une idée juste ne saurait mourir; elle peut être un moment méconnue, travestie; mais elle finit toujours par se présenter au grand jour, quand l'heure en est venue.

Les procédés que nous venons de développer, s'appliqueraient en entier avec le plus grand succès à la totalité

de la Camargue. En déduisant 14 000 hectares de terres déjà cultivées, et environ un dixième du reste pour chemins, canaux, bâtiments, etc., il resterait à fertiliser une superficie de 58 000 hectares de terrains, dont la plus-value ne saurait être estimée, en moyenne, à moins de 5 000f par hectare, soit 290 millions pour l'ensemble.

Un système analogue pourrait être appliqué aux plaines basses des deux rives du delta, dans des conditions moins avantageuses toutefois. Moins bien défendues contre les débordements du fleuve; sujettes à des submersions accidentelles résultant des affluents latéraux que le Rhône ne peut recevoir, les terres des plaines basses ne sauraient être traitées absolument comme celles de la Camargue. Aux procédés d'épuisement devrait se joindre l'application du relèvement graduel du sol par des colmatages successifs.

Quelques terrains même échapperaient, par leur nature, à l'un comme à l'autre de ces deux procédés. Telles seraient les plages sablonneuses des environs d'Aigues-Mortes sur la rive droite, et les terrains bourbeux des marais de Fos sur la rive gauche.

Moitié tout au plus de la superficie totale de ces basses plaines latérales, soit 37 000 hectares, pourrait être traitée avec avantage et transformée en terres arables dont la plus-value s'élèverait à 3 000f environ par hectare, représentant un nouveau bénéfice de 111 millions.

En résumé, sur le delta du Rhône, nous voyons la possibilité de créer dans la valeur du sol une plus-value totale de 400 millions pour le moins. Ce résultat, sans aucun doute, ne sera pas atteint sans de larges avances; dans certaines circonstances même, il pourra se faire que les dépenses paraissent supérieures au revenu immédiat. Pareille chose s'est produite en Hollande pour la mise en

valeur de la mer de Harlem. Après l'avoir desséchée, l'État n'a pas trouvé à vendre plus de 1 000f l'hectare conquis, qui lui revenait à une somme plus élevée. L'affaire n'en a pas moins été bonne dans l'intérêt général ; car, par le fait d'une culture intelligente, ces mêmes terres ont rapidement acquis une grande valeur. De mauvaise qu'elle était au point de vue étroit du budget de l'État, l'opération est devenue fort utile, fort lucrative même, au point de vue de la fortune publique. C'est un exemple que ne devront pas perdre de vue ceux qui seront appelés à résoudre la question depuis si longtemps débattue de la mise en valeur du delta du Rhône.

L'étendue du résultat final justifierait largement les sacrifices préalables qu'il pourrait peut-être exiger.

CHAPITRE III

MISE EN VALEUR DES TERRAINS MARÉCAGEUX DU LITTORAL DE LA MÉDITERRANÉE A L'OUEST DES EMBOUCHURES DU RHÔNE.

CI.

En dehors des vastes formations de l'embouchure du Rhône, l'appareil littoral se réduit sur nos côtes à de bien moindres proportions. Sa mise en valeur n'en est pas moins une question de la plus haute importance, plus encore au point de vue de la salubrité publique qu'à celui du développement de la production agricole.

Nous avons vu que l'aile droite du grand delta se prolonge, à partir des plages d'Aigues-Mortes, par un étroit cordon littoral, qui dessine à distance le contour général des côtes du Languedoc, se rattachant à ses deux points saillants, les montagnes de Cette et d'Agde, anciennes îles reliées à la terre ferme par des sédiments de formation récente.

Cette plage sablonneuse, dont l'action dominante du vent de terre limite la largeur, a séparé du continent une lagune continue qui, sous différents noms, de l'embouchure du Vidourle à celle de l'Hérault, s'étend sur une longueur de plus de 60 kilomètres.

Deux ouvertures permanentes, les graus de Palavas et de Cette, auxquelles se joignent parfois des passes acci-

dentelles en temps d'inondation, maintiennent cette longue nappe d'eaux salées en communication avec la mer. Elle se divise naturellement en trois sections distinctes, qui sont : l'étang de Mauguio entre les alluvions du Rhône et l'embouchure du Lez formant le premier grau ; les étangs de Maguelone, de Vic et de Frontignan, entre le grau du Lez et celui de Cette; l'étang de Thau, enfin, se prolongeant jusqu'aux alluvions de l'Hérault. Ces lagunes sont exposées à une double cause d'atterrissement : les sables marins—qui pénètrent par les graus et plus généralement franchissent la plage, refoulés par les vents de mer lors des tempêtes,— et les alluvions fluviales apportées par les affluents limoneux venant du continent.

La proportion de ces limons varie avec la nature géologique et l'étendue des bassins qui se déversent dans la lagune.

Tout le littoral de l'étang de Mauguio est formé de terrains tertiaires imperméables, en partie affouillables. Les nombreux cours d'eau qui sillonnent cette région, sur une profondeur de 15 à 20 kilomètres, mesurée normalement à la plage, ont produit de petits deltas à leur débouché dans l'étang. Les cônes presque contigus de ces deltas forment une rive plate et marécageuse, se continuant par une pente insensible jusqu'à la rencontre des sédiments marins provenant de la plage. Les deux talus se confondent en une surface horizontale vers le centre de l'étang, dont la plus grande profondeur ne dépasse pas 1m,20.

La vallée du Lez, plus grande que celle des affluents qui la précèdent, pénétrant à une distance de 30 à 35 kilomètres dans les terres, avec un bassin de 50,000 hectares, a fourni un delta plus étendu que les autres, qui, se rattachant presque au cordon littoral, sépare naturelle-

ment l'étang de Mauguio de ceux qui forment le deuxième groupe.

Ceux-ci, plus irréguliers dans leur forme, occupent une longueur de 25 kilomètres au pied d'une montagne de calcaires jurassiques, dont ils ne sont séparés que par une étroite lisière de terrains tertiaires. Le calcaire jurassique étant éminemment perméable, les écoulements de surface y sont nuls ; les eaux pluviales se concentrent dans des réservoirs souterrains, d'où elles s'échappent en sources limpides, au pied de la montagne, parfois même dans l'étang, sans entraîner avec elles aucune alluvion limoneuse. Tous les sédiments de ce groupe sont dès-lors d'origine marine. Poussés par les vents de mer, ils ont pénétré dans toutes les anfractuosités, dans tous les petits golfes du sol continental, à l'entrée desquels s'est reproduit sur une moindre échelle un phénomène analogue à celui du grand cordon littoral. Sous l'action combinée des vents de mer et de terre, un bourrelet sablonneux a séparé plus ou moins complètement de l'étang principal ces criques intérieures. Tour à tour submergées par l'eau douce et l'eau salée, elles forment une ceinture de marais dont les émanations pestilentielles déciment les populations voisines.

L'étang de Thau a une constitution différente. Originairement plus profond que les autres, il n'a pas été altéré au même degré par les sables marins. Il a sur plusieurs points conservé son fond de rocher par 7 à 8^{m} d'eau. Sa rive continentale appartient aux terrains tertiaires ; mais les vallées qui y ont leur débouché sont relativement très-peu étendues. Elles ne donnent que peu d'alluvions fluviales, sauf la petite rivière de Vène, qui a formé son delta à l'est, et l'Hérault, qui a étendu ses alluvions sur toute la lisière occidentale de la nappe d'eau.

Entre ces deux atterrissements extrêmes, le littoral de l'étang de Thau est en général escarpé, plongeant brusquement par une assez grande profondeur, sans plages submersibles intermédiaires ; aussi la salubrité de cette côte est-elle bien supérieure à celle des étangs situés à l'est de Cette.

En résumé, quant à l'origine géologique des terrains formant le plafond des étangs du Languedoc et des marais qui s'y rattachent, les alluvions continentales dominent sur toute la rive nord de l'étang de Mauguio et sur quelques points de celui de Thau ; les alluvions marines, au contraire, constituent à peu près exclusivement tout le fond de la lagune intermédiaire, la majeure partie de l'étang de Thau et la totalité de la plage.

Au point de vue agricole, les alluvions continentales peuvent en général former des terres fertiles. Les alluvions marines, par contre,— ne comprenant que deux éléments, le sable quartzeux résultant de la lévigation des apports étrangers et les vases calcaires produites par la trituration sur place des débris de coquilles, — ne peuvent être que de très-médiocres terrains. Elles se divisent d'ailleurs en deux classes distinctes, les vases et les sables.

Les vases se retrouvent surtout dans les criques intérieures enchâssées dans le littoral du continent. Elles sont presque exclusivement calcaires [1], riches en phosphates, mais pauvres en argile et en potasse. Elles constituent des sols légers dont le marais de Vic nous a offert un type des plus caractérisés. La composition minérale de ces marnes

[1] Cette formation crayeuse est due en plusieurs points (XCIV note) à la précipitation directe des matières calcaires en dissolution dans les eaux de source qui s'accumulent en hiver dans les cuvettes du marais, et se concentrent en été par le fait de l'évaporation.

se rapproche beaucoup de celle de la craie de Champagne ; elle en diffère cependant par la présence de quelques centièmes de limons argileux, qui suffisent pour leur donner une assez grande puissance productive.

La seconde classe, celle des sables, laisse surtout beaucoup à désirer au point de vue de la constitution physique du sol, qui n'a aucune consistance et ne retient pas dans ses molécules l'eau nécessaire à la végétation. De semblables terrains n'ont en général qu'une faible valeur agricole. Nous doutons fort qu'on puisse jamais en tirer très-grand parti dans leur état naturel, tant qu'on n'aura pas trouvé le moyen de les amender par un bon limonage.

La proportion relative des sables quartzeux et des sables calcaires varie beaucoup d'un point à un autre, sur l'étendue des plages du Languedoc, sans que nous ayons pu trouver aucune loi bien marquée dépendant de la distance du Rhône qui, à tort ou à raison, a toujours été considéré comme le point de départ des sables quartzeux. Une série de dix-huit échantillons recueillis à distances sensiblement égales, entre les embouchures du Vidourle et de l'Hérault, nous a donné une moyenne de 60 p. °/₀ de sables quartzeux insolubles dans les acides, contre 40 p. °/₀ de sables calcaires ; mais la proportion de ces derniers varie, sans règle fixe, de 34 à 80 p. °/₀, suivant les localités.

CII.

Il n'existe, avons-nous dit, que deux ouvertures ou graus permanents, celui de Palavas et celui de Cette, sur toute l'étendue du cordon littoral qui sépare de la mer la grande lagune du Languedoc.

Des courants alternatifs, dont la vitesse varie avec les

différences de niveau des deux masses liquides, tendent, dans un sens ou dans l'autre, à rétablir entre la mer et les eaux intérieures un équilibre de pression que diverses causes naturelles viennent incessamment troubler.

Parmi ces causes, les principales sont : l'action de la marée, celle du vent, la variation de pression atmosphérique, l'évaporation et l'écoulement des eaux pluviales, qui tantôt ajoutent, tantôt contrarient leurs effets, pour augmenter ou diminuer la dénivellation à laquelle sont dus les courants dans les graus.

Le phénomène des marées est peu marqué dans le bassin de la Méditerranée ; ses effets sont trop peu accusés pour être appréciables sur le rivage même de la mer; mais ils ne sauraient être méconnus dans les ports qui, comme ceux de Cette et de Venise, se trouvent près du débouché de lagunes assez étendues pour qu'une très-faible dénivellation dans leur surface corresponde au déplacement d'une grande masse d'eau. Lorsqu'on cite comme une anomalie les marées des lagunes de Venise sur l'Adriatique, il n'est nullement nécessaire d'admettre que leur amplitude soit beaucoup plus grande sur cette partie du littoral que sur toute autre. Le fait s'explique par l'existence du réservoir des lagunes, qui amplifie le phénomène, ou pour mieux dire le rend visible aux yeux. Bien que cette circonstance ait été plus rarement signalée, les marées se manifestent à Cette aussi bien qu'à Venise. Elles y sont caractérisées par une périodicité régulière des courants du grau formant le port, en dehors de toute autre cause étrangère.

L'action des grands vents, principalement de ceux du sud-est qui coïncident avec les dépressions barométriques, est très-supérieure à celle des marées; elle suffit pour produire une première dénivellation de la mer, dont l'amplitude

totale au-dessus des basses eaux dépasse parfois 0m,80 sur la plage de Cette.

L'intumescence intérieure des étangs est bien plus considérable encore. La masse des eaux pluviales directes ou amenées par les crues des affluents, ajoute ses effets à la dénivellation extérieure de la mer. De nombreux obstacles à l'écoulement viennent encore accroître cette différence, obstacles provenant, les uns de l'insuffisance de section des graus, les autres de divers barrages, tels que ceux des berges du canal des Étangs, des chaussées de la route de Cette ou du chemin de fer, qui ferment la lagune dans toute son étendue. Au lieu de s'écouler librement, en large nappe, les eaux sont obligées de se frayer un passage à travers des passes étroites qui occasionnent des remous dont les hauteurs acumulées s'accroissent sans cesse à mesure qu'on s'éloigne des graus de sortie. Pendant l'inondation du mois de décembre 1864, nous avons vu les eaux, sur l'étang de Frontignan, au débouché de la roubine de Vic, s'élever à la cote+1m,35 au-dessus des crues moyennes, soit 1m,61 au-dessus des mers basses, et nous savons que cette limite anormale peut être parfois dépassée.

Ces causes accidentelles peuvent produire des effets analogues sur les côtes de l'Océan, lorque l'action combinée des vents, des pluies et de la dépression barométrique s'ajoute à celle des marées d'equinoxe; mais cette dernière est toujours prépondérante. Le maximum de l'inondation ne dure jamais que quelques heures. La grande masse des eaux refoulée par le flux s'écoule avec le reflux, et l'évacuation est d'autant plus rapide qu'elle s'opère par de larges estuaires en libre communication avec la mer.

Il en est tout autrement dans nos lagunes de la Méditerranée : les eaux, accumulées pendant toute la durée d'une

tempête dans d'immenses réservoirs, s'y amoncellent en masses énormes dont la sortie ne peut plus s'opérer que très-lentement par un petit nombre d'étroites ouvertures. Dans l'exemple cité plus haut de la tempête du 15 décembre 1864, les eaux de l'étang de Frontignan se sont maintenues pendant une durée de six jours à $1^m,10$ et plus au-dessus du zéro moyen.

Sous l'action des différences de niveau considérables qui se produisent pendant les tempêtes entre la mer et les étangs, des graus temporaires s'ouvrent parfois dans la plage, en général aux mêmes points. Ces issues accidentelles peuvent rendre de très-grands services en accélérant, dès que cesse l'intumescence extérieure, l'écoulement des eaux accumulées, dont le volume dans la grande lagune du Languedoc peut atteindre et même dépasser 2 à 300 millions de mètres cubes.

On conçoit cependant combien doit être précaire cet exutoire ainsi livré au hasard, et combien il serait à désirer qu'on pût en régulariser l'action.

En dehors des grandes inondations, pendant les basses eaux d'été surtout, il ne serait pas moins utile de faciliter le jeu du courant alternatif des marées pour renouveler la masse des eaux stagantes de la lagune, pour suppléer à la quantité enlevée par l'évaporation, dont le cube peut s'élever jusqu'à 2 millions de mètres cubes en vingt-quatre heures.

De tout temps les populations riveraines des étangs du Languedoc se sont beaucoup préoccupées des graus, des moyens d'entretenir ceux qui existaient déjà et de la possibilité d'en ouvrir de nouveaux. La question a été reprise récemment, et paraît avoir été heureusement résolue par les ingénieurs du service maritime de l'Hérault. M. l'ingénieur en chef Régy, sous les ordres duquel nous avons

eu l'honneur d'être placé pour l'exécution de notre projet du marais de Vic, a pris l'initiative de l'établissement de graus artificiels. Ils consistent en coupures établies dans la plage et fermées au voisinage de la mer par un pertuis éclusé qui empêche l'entrée des sables pendant la durée de la tempête. Dès que s'affaisse le niveau extérieur, il suffit d'ouvrir l'écluse pour qu'il s'établisse une chasse naturelle qui balaye les sables accumulés à l'entrée du chenal et rétablit entre les deux masses d'eau une communication qui se maintient jusqu'au retour de la tempête suivante.

Un de ces graus artificiels fonctionne déjà dans l'étang de Mauguio, où il rend de bons services. D'autres sont à l'étude[1]; ils seront sans doute prochainement établis.

Quels que soient les avantages des graus artificiels, leur action pendant les tempêtes ne pourra se faire sentir que sur la période d'écoulement des eaux intérieures. Ils ne diminueront ni la durée ni la hauteur des submersions générales, qui, en dehors des rives normales des étangs, continueront à se répandre, soit sur la zone des marais qui

[1] L'utilité des graus artificiels est cependant contestée au point de vue de l'assainissement général de la contrée et des bons résultats agricoles qu'on croyait pouvoir en attendre.

La cuvette des étangs étant assujétie à recevoir un grand excédant d'eaux douces pendant la saison des pluies, leur salure moyenne est beaucoup plus faible que celle de la mer.

Les eaux de l'étang de Mauguio notamment se trouvent presque douces au printemps, et donnent naissance à une végétation roselière spontanée, assez productive, que les administrations locales craindraient de voir disparaître si l'irruption trop fréquente des eaux de la mer venait à augmenter la salure de l'étang. L'établissement d'un nouveau grau projeté dans la plage en face du bourg de Mauguio, a donné lieu, pour ces motifs, à une vive opposition de la part des localités intéressées.

les bordent, soit sur les terrains cultivés qui sont à la suite.

Au point de vue de l'assainissement comme à celui de l'amélioration agricole, le but qu'on doit se proposer est bien évidemment de faire disparaître cette zone intermédiaire de terres basses, en général salées, tour à tour desséchées par le soleil en été, et submergées en hiver par des masses d'eaux douces ou saumâtres, dont le mélange en proportion variable est la cause principale de l'insalubrité du pays.

En principe, les travaux à faire pour atteindre ce résultat doivent consister dans l'établissement d'une digue de ceinture insubmersible, cantonnant l'étang dans un bassin dont les eaux resteront toujours vives; limitant le front d'aval de la zone intermédiaire des terrains marécageux, dont il restera à compléter l'isolement et la mise en valeur par le dessèchement et le dessalement.

CIII.

Des trois sections de la lagune de Languedoc, l'étang de Mauguio est celle qui se prête plus particulièrement à l'application sur une grande échelle d'un procédé général dont il nous reste à exposer les détails.

Pour rester fidèle à notre classification, nous devrions considérer l'étang de Mauguio comme s'étendant des alluvions du Vidourle à l'est jusqu'à celles du Lez à l'ouest. Il serait toutefois plus exact d'en retrancher, vers l'extrémité occidentale, l'étang de Pérols, nappe d'eau complétement distincte, qu'une saillie du continent sépare de la surface principale, avec laquelle elle ne communique que par le canal des Étangs.

Ainsi restreint, l'étang de Mauguio forme un bassin elliptique de 12 kilomètres de long sur 4 de large, présentant une surface de 3 500 hectares environ, non comprises les plages riveraines. Sa plus grande profondeur ne dépasse pas $1^m,20$ au-dessous du zéro des eaux moyennes.

Au point de vue de l'amélioration agricole qu'il comporte, le littoral de cet étang peut se diviser en deux sections distinctes que nous étudierons séparément : les alluvions du Vidourle à l'est, le rivage continental au nord.

Le Vidourle est une rivière torrentielle dont les eaux, très-limoneuses pendant les crues, ont formé des alluvions assez considérables qui se confondent sur certains points avec celles qui proviennent de la branche droite du Rhône. A une époque dont nous n'avons pu retrouver la date précise, il paraît s'être jeté en entier dans l'étang de Mauguio par l'ancienne branche de Coculs, avant que se fût ouvert le bras actuel, ou bras de la Brèche, qui, peu à peu régularisé, a fini par diriger toutes les eaux dans l'étang de Repausset, en communication avec la mer par le grau d'Aigues-Mortes.

C'est en amont du point de bifurcation du lit actuel et de la branche de Coculs que se trouvent les alluvions les plus importantes. Elles forment, latéralement aux berges de la rivière, deux larges talus dont l'un s'incline vers l'étang de Mauguio dans la commune de Marsillargues, l'autre vers l'étang de Repausset dans la commune de Saint-Laurent d'Aigouze. Nous ne nous occuperons que du premier de ces deux plans inclinés, qui a la forme sensiblement régulière d'un rectangle de 8 kilomètres de long sur 3 de large, s'adossant à la digue droite du Vidourle d'un côté, s'inclinant de l'autre vers le canal de Lunel, bief d'eaux dormantes sans écluses, en communication directe avec l'étang de

Mauguio, dont il suit toutes les fluctuations de niveau.

Les alluvions de la rive droite du Vidourle sont de formation relativement récente. Au moyen âge, cette vaste surface était en grande partie occupée par des marais incultes; les eaux profondes et en partie navigables de l'étang devaient remonter très-loin vers le nord, car à l'extrémité d'amont du plan incliné, au mas Dasports, se trouvait une tour que les chroniques locales indiquent comme ayant été construite pour arrêter les incursions maritimes des Sarrasins.

Les débordements successifs du Vidourle exhaussèrent peu à peu les marais de la rive droite, et leur sol devait avoir acquis déjà un certain relief, différant peu de l'état actuel en moyenne, lorsque furent construites les digues actuelles, aux frais des riverains, aidés sur certains points par les États de Languedoc. Nous ne connaissons pas la date précise de l'établissement de ces digues. Elles existaient avant 1304 en amont de Marsillargues; elles furent continuées en aval jusqu'au canal de Saint-Romans avant 1550, et terminées au-delà de 1650 à 1750. En 1610, il s'opéra dans la digue de droite une grande brèche, par laquelle les eaux des crues s'ouvrirent une nouvelle issue vers l'étang de Mauguio, à mi-distance environ entre Marsillargues et le point de bifurcation inférieur des deux branches du Vidourle.

Les propriétaires des marais, après avoir de prime abord considéré cet accident comme désastreux pour eux, ne tardèrent pas à reconnaître qu'il leur avait été fort avantageux, en opérant un colmatage considérable sur une partie du sol inondé. Loin de fermer la brèche, ils en régularisèrent le débit, en endiguant à la suite le canal de Saint-Romans, qui a fonctionné comme canal de colmatage pendant cent trente et un ans, de 1639 à 1770, et produit, par le relèvement latéral de ses rives, un double talus allongé dont la mise en

culture définitive n'a eu lieu qu'en 1776. Depuis cette époque, l'entrée du canal de Saint-Romans a été presque constamment tenue fermée par un bâtardeau, et l'état des lieux, sauf quelques ruptures accidentelles dans la digue, s'est maintenu à peu près tel qu'il est aujourd'hui.

Le bourrelet saillant formé par les atterrissements du canal de Saint-Romans divise le plan incliné général en deux dépressions ou bassins distincts, dont l'un, celui de Beauregard, s'arrête en amont au terrain tertiaire; dont l'autre, celui de Tamariguières, se limite au sud au bourrelet parallèle de la branche de Coculs. Ces terrains sont divisés en un petit nombre de grands domaines, provenant du démembrement d'une concession originairement faite par Philippe-le-Bel à son chancelier Nogaret, lorsque la surface totale était encore en état de marais. Au point de vue des produits agricoles, on retrouve, en s'écartant des bourrelets saillants, trois zones distinctes, qui sont: les terres cultivées, les terrains salés non arrosables ou sousouïres, à peu près improductifs, enfin les marais roseliers occupant les dépressions les plus basses, le long du canal de Lunel. Les marais roseliers, dont l'importance va toujours en croissant sur notre littoral, ont surtout une valeur très-considérable dans la commune de Marsillargues. Parmi ceux qui sont bien aménagés, pouvant s'arroser au printemps, s'assécher en été, il en est qui rapportent jusqu'à 200 et 250f par hectare, en produit net. On serait mal venu à engager les propriétaires intéressés à renoncer à une telle source de revenus aussi faciles qu'assurés. Tout ce qu'on peut se proposer, c'est d'obtenir que l'installation des marais roseliers soit rendue aussi peu insalubre que possible, et qu'elle ne nuise en rien à la mise en culture des terres supérieures, et sous ce double rapport il est aisé de voir qu'il y a beaucoup à faire.

L'irrigation des marais roseliers de Marsillargues est des plus défectueuses. Elle s'opère aujourd'hui par une seule dérivation du Vidourle partant de Marsillargues, et qui, par voie de submersion générale, doit inonder toute l'étendue des parties basses longeant le canal de Lunel, depuis le mas Dasports jusqu'à la branche de Coculs.

La nécessité pour les eaux de franchir le point haut du bourrelet formé par les alluvions du canal de Saint-Romans rend cet arrosage très-difficile. Les marais du premier bassin de Beauregard sont submergés à un niveau trop élevé avant que ceux du bassin de Tamariguières aient reçu les eaux qui leur sont nécessaires. Il est d'ailleurs bien évident que cette submersion générale, en arrêtant l'écoulement des eaux de toutes les terres supérieures, doit les rendre improductives sur une grande étendue. Elle entretient dans la plaine, et principalement dans la traversée des deux bas-fonds, une humidité constante qui rend impossible l'établissement de toute route ou chemin particulier. Certains domaines sont parfois inaccessibles aux voitures pendant huit ou dix mois de l'année.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur les inconvénients d'une telle situation. Il paraitrait d'autant plus facile d'y remédier, que la propriété, peu morcelée, est répartie en grands domaines d'une importance de 2 à 300 000f chacun, dont il serait facile de doubler ou tripler la valeur sans trop de frais. Les terrains de la rive droite du Vidourle présentent, en effet, un des types les plus simples et les mieux caractérisés des grands plans inclinés, dont nous avons décrit les conditions générales (LXXI) dans la première partie de cet ouvrage. Ce large talus est naturellement divisé en deux bassins secondaires, dont le lit du Vidourle forme le faîte principal; le canal d'irrigation de

Marsillargues et les canaux de Saint-Romans et de Coculs, les faîtes de deuxième ordre ; le canal de Lunel, l'émissaire général. Pour compléter le relief et l'accentuer de plus en plus, il suffirait d'ouvrir deux émissaires de deuxième ordre dans l'axe des deux dépressions de Beauregard et de Tamariguières. Le talus total se trouverait ainsi divisé en quatre versants, sur lesquels on pourrait répartir les terres cultivées dans le haut, les marais roseliers dans le bas. La ligne de démarcation pourrait être arrêtée à la cote + 0,60. Les marais inférieurs à cette limite seraient arrosés, sur le premier versant par la dérivation actuelle, sur le deuxième et le troisième par le canal de Saint-Romans, sur le quatrième par la branche de Coculs.

Il existe déjà dans le Vidourle, en aval de la bifurcation, un barrage fixe destiné à empêcher le retour des eaux salées dans le bief inférieur du moulin de Saint-Laurent. Un exhaussement de $0^m,30$ à $0^m,40$ sur ce barrage permettrait de tendre les eaux du bief à une cote assez élevée pour alimenter naturellement les deux canaux de Saint-Romans et de Coculs, dont le rétablissement n'exigerait que des travaux de curage insignifiants et la construction d'une écluse de garde à l'entrée. La dépense totale n'atteindrait pas $60\,000^f$. Cette opération, si simple, si peu coûteuse, assurerait immédiatement la mise en valeur de tout le territoire, qui se trouverait divisé en deux classes : les marais roseliers longeant le canal de Lunel, les terres arables s'adossant aux digues du Vidourle. Les premiers jouiraient d'un arrosage direct, indépendant, alimenté par des eaux exceptionnellement fertilisantes. Les terres arables, — pouvant s'assécher en tout temps, sauf la courte durée des intumescences anormales de l'étang, en position d'être drainées, si le dessalement nécessitait ce surcroît

de travail, — pourraient être en outre amendées par de nouveaux dépôts des riches limons du Vidourle, toutes les fois que les crues de cette rivière surviendraient à une époque qui permettrait d'en répandre les eaux sur le sol, sans inconvénient pour les cultures.

L'ouverture des deux canaux d'évacuation projetés dans les bas-fonds de Beauregard et de Tamariguières, donnerait enfin toutes facilités possibles pour établir une bonne route agricole, sans laquelle l'exploitation de ces grands domaines restera toujours précaire et mal assurée.

Il serait difficile de trouver en aucun lieu, réunies au même degré que sur les terres basses de Marsillargues, les conditions de réussite d'une grande entreprise d'amélioration agricole : fertilité du sol, simplicité exceptionnelle des travaux, certitude des résultats, groupement de la propriété dans un très-petit nombre de mains. Et cependant rien ne s'est fait et ne se fera de longtemps ! Les propriétaires, jouissant pour la plupart d'une très-grande fortune, aiment mieux tirer, sans soucis, sans tracas, 10 à 12 000f, bon an mal an, du fermage d'un domaine de 2 à 300 hectares, que de se concerter pour le moindre effort collectif, de risquer les moindres avances, en vue de quadrupler ce revenu. Triste exemple qui ne prouve que trop que ce ne sont pas toujours les moyens matériels d'exécution qui nous manquent en France, mais l'intelligence de nos propres intérêts, la noble émulation qui devrait nous porter à bien faire, le sentiment du devoir, enfin, qui nous fait une loi morale de nous rendre utiles et de concourir dans la mesure de nos ressources à l'amélioration du bien-être général !

CIV.

Les circonstances sont loin d'être aussi favorables sur le rivage septentrional de l'étang de Mauguio. Il est découpé par cinq ou six affluents plus ou moins considérables, tous à peu près à sec en été, mais qui pendant la saison pluvieuse sont sujets à de fortes crues torrentielles. Ces affluents ont en général leur lit creusé et endigué de main d'homme, tant qu'ils traversent les terres cultivées; mais, en approchant de l'étang, ils sont livrés à eux-mêmes et divaguent librement sur les terrains de leurs deltas. Cette série de petits cônes de déjection se succédant les uns aux autres, forme une zone assez étendue, dans laquelle on retrouve, comme sur le plan incliné du Vidourle, à la suite des terres arables, une lisière de plages salées et incultes, précédant des marais roseliers plus ou moins productifs, plus ou moins bien aménagés.

Les eaux de l'étang de Mauguio, sans cesse renouvelées par les crues des affluents, sont à peine saumâtres en hiver. Les terrains qu'elles ont submergés, à mesure qu'elles les abandonnent, se recouvrent spontanément d'herbes palustres, qui sont l'objet d'un assez grand revenu pour les communes riveraines, principalement pour celle de Mauguio. Le fond même de l'étang appartient à l'État; mais en vertu de titres plus ou moins valables, la commune s'en réserve les produits naturels. Elle s'est même arrogé des droits de propriété absolus sur la zone habituellement émergée des terrains salés qui se trouvent en arrière des roselières. Cette circonstance est surtout regrettable, car les administrations locales ont abandonné, moyennant des redevances insignifiantes, parfois même définitivement

vendu par petites parcelles, une grande partie de ces terrains aux cultivateurs pauvres de la commune, qui les défrichent et les mettent en valeur par le procédé le plus barbare et le plus primitif. Ils utilisent en effet les loisirs de la morte-saison à découper ces terrains en bandes étroites, relevées avec des terres d'emprunt, à les transformer en îlots connus dans le pays sous le nom générique de *bouzigues*. Nous ne saurions trop nous élever contre cette déplorable habitude, qui, sans grands avantages immédiats pour la production agricole, contribue essentiellement à l'insalubrité du pays, et crée de graves difficultés pour l'avenir; car toute entreprise future d'amélioration normale devrait en effet débuter par détruire ce qui a été fait, par remblayer à grands frais les innombrables fossés et les chambres d'emprunt des bouzigues, dont l'inextricable réseau ne pourrait comporter aucune culture régulière.

Le bassin de l'étang de Mauguio appartenant au terrain tertiaire, nous n'aurions pas à redouter la présence du sous-sol perméable et des sources de fond que nous avons rencontrées au sud de la Gardiole, et qui ont entravé l'opération du dessalement du marais de Vic. Des sondages poussés à 3 ou 4^{m} sur tout le pourtour de l'étang, ont généralement démontré la continuation des couches meubles à cette profondeur. Nous avons bien constaté sur quelques points, notamment près de l'étang de Pérols et dans l'estagnol de Saint-Marcel, qui se relie à l'étang, la présence de quelques sources artésiennes; mais le volume en est en tout temps peu considérable et ne saurait être un obstacle sérieux à un épuisement artificiel.

L'étang de Mauguio se présente donc dans des conditions relativement avantageuses, qui permettraient d'en découper le littoral en un certain nombre de polders isolés,

englobant dans leurs cuvettes respectives la totalité de ces terrains mixtes tour à tour envahis par l'eau douce ou l'eau salée, — qui, dans l'état, impropres à toute culture régulière, sont un foyer d'émanations pestilentielles — dont la suppression importe plus encore au point de vue de la salubrité publique qu'à celui de l'amélioration agricole.

L'isolement du côté de l'étang serait obtenu par une digue solidement pereyée à l'aval, dont la crête pourrait être établie à la cote + 1m,70, pour rester insubmersible aux plus grandes intumescences de l'étang, dont le pied plongerait aux environs de la cote — 0,30, de manière à être toujours battue par des eaux vives.

Cette digue serait interrompue à la traversée des affluents. Chacun d'eux conserverait un lit de crue déterminé sur les terrains qu'il envahit librement aujourd'hui. Ce lit devrait être assez large pour ne produire qu'un faible remous à l'amont. Le plafond, dans sa partie centrale, serait formé par le terrain naturel; mais des deux côtés on ouvrirait deux fossés intérieurs dont les déblais serviraient à élever les digues latérales, complétant l'encaissement des ruisseaux. Ces fossés recevraient les eaux douces en temps d'étiage. Deux écluses ou barrages seraient établis sur chacun d'eux. La retenue d'amont permettrait la déviation des eaux pour l'arrosage des polders; celle d'aval empêcherait les eaux salées de remonter en temps d'étiage, pour se mêler aux eaux douces; les digues latérales s'arrêteraient vers la cote + 1m du terrain naturel. A ce point, elles seraient reliées transversalement d'un affluent à l'autre, par une digue sensiblement parallèle à l'élément correspondant de la digue de ceinture. Cette digue serait formée par les terres provenant du creusement d'un fossé extérieur, qui recevrait les eaux d'égouttage des terrains d'amont et les ramènerait

dans les rigoles latérales des affluents, par des vannes à clapet, se fermant d'elles-mêmes en cas de crue de ces affluents.

Les polders ainsi limités entre les digues latérales de deux affluents consécutifs,—la digue de défense à l'aval et celle d'isolement à l'amont, —pourraient être tenus à sec par des machines d'épuisement qui rejetteraient directement les eaux dans l'étang. Les terrains embrassés seraient, suivant qu'on le jugerait plus avantageux, transformés en terres arables soigneusement dessalées par un lessivage régulier, ou convertis en marais roseliers arrosés par les eaux douces des affluents, toujours assez abondantes au printemps.

Théoriquement, l'opération serait des plus aisées ; sans vouloir entrer dans le détail de tous les travaux, nous croyons pouvoir affirmer que le chiffre des dépenses, pour desséchement et drainage, ne dépasserait pas en moyenne 1 000 à 1 500f par hectare de terrain englobé dans les polders. En pratique, des difficultés sérieuses proviendraient : — du morcellement considérable des propriétés, — de la nécessité de comprendre dans le périmètre de défense une quantité plus ou moins grande de terrains déjà cultivés, — des frais spéciaux, enfin, qu'entrainerait l'obligation de niveler le sol, en comblant les innombrables fossés et chambres d'emprunt dont l'incurie de la commune de Mauguio a permis de sillonner le sol.

Dans l'état actuel d'organisation de la propriété en France, une complète entente entre tous les intéressés paraîtrait chose à peu près impossible. L'obtiendrait-on, que la difficulté serait toujours aussi grande, car l'exploitation de semblables terrains nécessiterait une unité de vues, un ensemble de mesures qu'on ne saurait attendre d'un

syndicat, si bien disposé qu'il fût. Le seul moyen de mener l'affaire à bien serait très-probablement une dépossession préalable de tous les propriétaires actuels, résultat qu'on ne saurait demander à notre législation. La loi sur l'expropriation pour cause d'utilité publique laisse trop d'arbitraire à la décision des jurés, pour qu'on puisse songer à l'utiliser dans une entreprise industrielle, uniquement basée sur la plus-value des terrains expropriés.

Dans l'impossibilité de proposer des voies et moyens sérieusement pratiques, du moins pour le moment, il serait prématuré de notre part d'entrer dans de grands détails sur les dispositions spéciales du projet d'ensemble dont nous venons d'esquisser sommairement les principes. Autant qu'on peut en juger par une étude sommaire dont il nous paraît inutile de reproduire autre chose que les résultats, l'application des principes généraux que nous venons d'exposer à la mise en valeur du littoral de l'étang de Mauguio, déterminerait l'installation de dix cuvettes distinctes, formant autant de petits polders isolés de l'étang, desséchés par machines, pouvant être dessalés par drainage et amenés à un parfait état de culture.

La surface totale du bassin de l'étang de Mauguio, embrassant tous les terrains submersibles, sauf toutefois le plan incliné du Vidourle, que nous avons traité séparément, pourrait se subdiviser ainsi :

1° Terrains compris dans l'enceinte des polders littoraux.	Pris sur la tere ferme au-dessus du zéro, 1 600^{h} Gagnés sur l'étang au-dessous du zéro, 1 250^{h}	2 850^{h}
2° Terrains restant à l'état d'étang		2 400
3° Plage littorale		1 450
Total		6 700^{h}

Le sol des terrains conquis à la culture, complètement différent de celui des marais de Vic, est composé d'un mélange d'alluvions continentales et de vases marines, dans les proportions les plus favorables à la production agricole.

En moyenne, le gain réalisé ou la plus-value produite ne saurait être estimé à moins de 5 000[f] sur les terrains émergés à nouveau, à moins de 3 000[f] sur ceux qui le sont déjà, soit :

1 600 hectares à 3 000[f]........................	4 800 000[f]
1 250 hectares à 5 000[f]........................	6 250 000
TOTAL......	11 050 000[f]

La masse des bénéfices à réaliser serait en somme bien plus grande qu'il ne le faudrait pour faire face à tous les frais de l'entreprise, au point de vue purement technique, abstraction faite des difficultés administratives de toute nature que l'état de la propriété nous paraîtrait comporter.

Mais c'est surtout au point de vue de l'amélioration sanitaire que le succès de l'opération devrait être souhaité. L'étang de Mauguio est aujourd'hui très-insalubre. Isolé par une digue insubmersible, il constituerait une nappe d'eaux vives qui conserverait en tout temps une suffisante profondeur, et qui ne serait pas plus nuisible aux populations riveraines que ne l'est aujourd'hui l'étang de Thau dans ses conditions naturelles.

CV.

La surface des terrains qui pourraient être avantageusement retranchés des étangs et livrés à la culture, est relativement bien moins importante dans la partie de la lagune

qui s'étend entre le Lez et Cette que sur le littoral de l'étang de Mauguio.

Nous trouverions cependant, comme susceptibles d'une amélioration sérieuse, les marais dans lesquels débouche la rivière de la Mosson, sur la rive droite et près l'embouchure du Lez. On pourrait y joindre la pointe de l'étang avoisinant Villeneuve, sur une superficie totale de 200 hectares environ. Ces terrains, qui s'assèchent à peu près d'eux-mêmes en été, dont le sol a été amendé par les limons du Lez et de la Mosson, ont été concédés en partie, à charge de dessèchement, à des capitalistes qui, après y avoir fait des dépenses assez considérables, n'ont pas su en tirer parti.

L'opération paraîtrait pouvoir être reprise avec avantage, à la condition surtout de l'étendre en dehors de la concession primitive, beaucoup trop restreinte.

Au-delà de Villeneuve, dans les communes de Vic et de Mireval, le littoral présente une zone de terrains marécageux analogues à ceux des marais de Vic, comme eux composés de vases calcaires et assujétis à recevoir par le sous-sol des sources abondantes en temps de pluie. Plus loin, dans une dépression spéciale comprise entre la montagne de la Gardiole et une colline parallèle, se trouve le bassin des marais de Vic et de Frontignan, sur une partie desquels se continuent les travaux dont nous avons déjà parlé (XCIV), et dont les résultats pratiques ne sont pas encore assez bien acquis pour que nous puissions les exposer avec détail. Si nos espérances se réalisent, ces divers terrains pourront être traités par les mêmes méthodes, et nous pouvons évaluer en somme à 800 hectares environ la surface totale qui pourrait être conquise à la culture entre l'embouchure du Lez et le grau de Cette.

L'étang de Thau nous offrirait moins de ressources en-

core que ceux qui longent la chaîne de la Gardiole. Ses rivages sont relativement beaucoup moins marécageux, par suite beaucoup plus salubres.

Au pied du golfe compris entre Balaruc et Bouzigues, nous pourrions retrancher une partie d'étang insalubre qui s'assèche d'elle-même en été, en reprenant des travaux déjà entrepris par la commune de Poussan. En y ajoutant les plages salées de l'embouchure de la Vène, nous trouverions sur ce point une superficie de 100 hectares au plus, qui pourraient être avantageusement traités au double point de vue des avantages agricoles et hygiéniques.

De ce point il faut passer à l'extrémité opposée de l'étang, pour voir reparaître les terres salées et marécageuses, sur le plan incliné de la rive gauche de l'Hérault.

L'Hérault présente cette circonstance remarquable, que nous retrouverons sur l'Aude, d'avoir constitué son delta autour d'une butte isolée, le mont d'Agde, ou mont Saint-Loup, qui occupe l'emplacement habituel de l'étang central, du Valcarès, si nous prenons pour type le delta du Rhône.

L'aile gauche est indiquée par une dépression dans la direction de laquelle a été tracé le canal du Midi. Les alluvions correspondantes forment une plaine basse, inclinée à partir du cours d'eau, se continuant jusqu'à l'étang de Thau, dont elle forme la lisière occidentale.

La branche droite de l'Hérault constitue le lit normal et navigable de la rivière. Elle a donné naissance elle-même à deux plans inclinés, dont l'un se prolonge librement vers la droite, dont l'autre est intercepté sur la gauche par le relèvement du mont Saint-Loup. Sur le versant sud de cette butte volcanique, — envisageant la mer, — s'étend une formation marine de dunes parfaitement caractérisées, qui se prolongent jusqu'à Agde sur 3 kilomètres de profondeur,

en continuation des plages basses et étroites du cordon littoral.

Ces dunes, que nous retrouverons au-delà, portent sur le littoral du Bas-Languedoc le nom générique de *cosses*. Elles sont loin d'avoir une importance et une puissance d'envahissement analogues à celles des dunes de l'Océan. Leur sol sablonneux, bien qu'il porte parfois de médiocres vignobles, est en général peu productif, et ne saurait être mis sérieusement en valeur que tout autant qu'on pourrait l'arroser et surtout l'amender par des dépôts d'eaux troubles.

Un limonage naturel s'est opéré dans une dépression qui, sur toute la longueur comprise entre l'Hérault et l'étang de Thau, s'étend au pied du mont Saint-Loup.

Resserré entre deux lignes de dunes consécutives, dont l'une forme la plage proprement dite et l'autre constitue le premier chaînon du massif de sables marins qui se prolonge vers le nord, ce bas-fond, sans issue naturelle, sert de réceptacle à toutes les eaux douces de filtration provenant de l'égouttage des dunes et du mont Saint-Loup. Ce sol marécageux, amendé de temps à autre par les débordements de l'Hérault, a une fertilité relativement assez grande. Il a été mis en valeur par le procédé de morcellement, dont nous avons trouvé de nombreux exemples, qui consiste à découper le sol en petites parcelles exhaussées par des déblais latéraux.

Ce réseau d'îlots marécageux souffre beaucoup de l'humidité, et est, en l'état, fort malsain. Un travail d'assainissement assez simple consisterait à assurer l'assèchement des îlots par l'ouverture d'un canal central débouchant dans l'Hérault près son embouchure. Quelques études ont été faites dans ce but, mais sont restées sans résultat.

Pour en revenir aux formations principales de l'Hérault,

le plan incliné de gauche se prolongeant, d'une part jusqu'à l'étang de Thau, de l'autre jusqu'aux dunes littorales, présente, tant au nord qu'au sud du canal du Midi, une superficie totale de 1 200 hectares qui pourrait être portée à 1 500 environ, en y adjoignant les terres qui seraient conquises sur l'étang, par la construction d'une digue de ceinture, retranchant tous les bas-fonds supérieurs à la cote — 0,50.

Une partie de ces terrains sont déjà occupés au nord du chemin de fer par les dépendances du salin de Blagnas. Ceux qui s'étendent vers le sud pourraient être d'autant plus avantageusement desséchés et dessalés par des procédés analogues à ceux que nous avons décrits, qu'il serait facile d'utiliser les eaux de l'Hérault pour le lessivage et l'arrosage du sol.

La plaine basse de l'Hérault, sur sa rive droite, forme un plan incliné bien caractérisé, qui s'étend de la bifurcation supérieure du canal du Midi à la mer, sur une longueur de 6 000^{m} et une largeur moyenne de 1 500. Les eaux d'égouttage sont reçues dans un colateur latéral qui débouche dans le clot de Vias, dont nous parlerons tout à l'heure.

Ces terrains, en partie salés, sont soumis à l'obligation de recevoir les eaux débordées de la rivière en temps de crue. Il serait très-difficile de les exonérer en tout ou partie de cette servitude; mais leur amélioration pourrait être obtenue par un autre moyen, en mettant à profit les eaux de l'Hérault pour l'arrosage et le colmatage, par application du système que nous avons exposé déjà pour le plan incliné du Vidourle, que nous développerons avec plus de détails en parlant du delta de l'Aude.

En somme, le delta de l'Hérault présente une superficie

totale de 2500 hectares d'alluvions marécageuses, dont 1 500 sur la rive gauche et 1 000 sur la rive droite, auxquels il faudrait ajouter environ 1 500 hectares de dunes et plages sablonneuses.

CVI.

La lagune et le cordon littoral que nous avons vus s'arrêter au delta de l'Hérault, ne reparaissent pas au-delà. La côte continentale ne présente plus les enfoncements naturels qui ont déterminé la formation des étangs de Mauguio et de Thau ; l'action des vents de mer devient prédominante. Ils refoulent en plus grande abondance les sables marins qui constituent des plages ondulées, des dunes rudimentaires conservant le nom générique de cosses. Les eaux intérieures ne sont plus reçues dans de grands étangs littoraux, bien qu'elles n'aient pas toujours un écoulement direct à la mer. Deux rivières seulement, le Libron et l'Orb, ont maintenu leur embouchure à travers les sables des cosses. Les autres affluents intermédiaires se perdent dans des dépressions marécageuses qui n'ont qu'une analogie éloignée avec les étangs littoraux, et qui portent le nom particulier de *clots :* le clot de Vias, dont nous avons déjà parlé, entre l'Hérault et le Libron ; celui de Portiragnes, entre le Libron et l'Orb.

Sur la longueur totale de 10 kilomètres, qui s'étend entre les embouchures de l'Hérault et de l'Orb, on peut estimer à 2 000 hectares environ la superficie totale des terres salées et marécageuses appartenant pour moitié au moins aux terrains marins des cosses, dont la mise en valeur n'offrirait plus le même intérêt que celle des alluvions fluviatiles au point de vue agricole, mais n'en aurait pas moins une grande importance hygiénique.

De l'embouchure de l'Orb à celle de l'Aude, la côte est formée par une falaise de terrain diluvien, se prolongeant jusqu'à la mer, enfouie à la base, recouverte même en partie à la surface par les sables marins de dunes ou cosses dont la formation paraît pour la plupart remonter à une époque géologique antérieure à la nôtre.

Le delta de l'Aude, resserré à sa sortie entre cette falaise au nord-ouest et les montagnes de la Clape au sud-est, est tout intérieur. Il s'est, comme celui de l'Hérault, constitué autour d'une montagne remplaçant l'étang central. Le point de bifurcation se trouve au barrage de Mussolens. L'aile gauche, comprenant le lit principal de la rivière, a produit dans des lagunes intérieures des formations assez importantes pour motiver de notre part une étude spéciale qui fait l'objet du chapitre suivant. L'aile droite, contournant la montagne de la Clape, a formé les plaines de Narbonne, et se prolonge, par le canal de la Roubine, à travers les étangs de Bages et de Gruissan, qu'elle a fini par diviser en deux nappes distinctes.

Les étangs littoraux reparaissent sur les côtes de l'Aude et des Pyrénées-Orientales, mais dans des conditions différentes de ceux qui suivent l'aile droite du Rhône. Ils sont protégés contre les envahissements de la mer, non plus par une simple plage sablonneuse, mais par une ligne discontinue de montagnes ou de collines sensiblement parallèles à la côte.

Ces étangs doivent à cette disposition de n'avoir pas été entièrement comblés par les alluvions marines refoulées par l'action des vents de l'est et du sud-est, qui devient de plus en plus normale à la côte.

Ils n'ont pourtant pas tous conservé au même degré leur profondeur primitive. Ils se divisent assez naturellement en

trois sections distinctes, qui sont : les étangs de Bages et de Gruissan, celui de la Palme et celui de Leucate.

Le premier bassin est celui qui est le mieux fermé par les collines extérieures, le mieux défendu contre les atterrissements de la mer, avec laquelle il ne communique que par les trois graus allongés de Grazelle, de la vieille Nouvelle et de La Nouvelle. Il est en revanche envahi par les alluvions du bras droit de l'Aude, s'étendant, des deux côtés du canal de la Roubine, en plaines basses submersibles, qui, sur d'assez grandes largeurs probablement, pourraient être conquises sur les eaux salées, desséchées artificiellement et mises en valeur.

L'étang de la Palme, qui s'étend entre l'île de Sainte-Lucie, dernier chaînon des montagnes de la Clape, et le coteau de Leucate, correspond à une lacune dans cette ceinture littorale. Librement ouvert du côté de la mer, il a été en grande partie atterri par les sables de la plage. Les montagnes calcaires qui forment le pourtour de l'étang du côté du continent, produisent peu de limons, mais par contre donnent naissance à des sources, les unes saumâtres, les autres douces, qui doivent en partie ressortir dans l'étang lui-même. Sur une plus grande échelle et dans des conditions relativement un peu moins favorables, le dessèchement et la mise en valeur de l'étang de la Palme reproduiraient sans doute les difficultés que nous avons rencontrées au marais de Vic. L'opération ne saurait être entreprise sans une sérieuse étude préalable.

L'étang de Leucate, qui vient à la suite, abrité du côté de la mer par la colline du même nom, encaissé dans le continent, a conservé sa profondeur primitive. Il constitue une large nappe d'eau à fond de sable marin, sur laquelle une entreprise agricole trouverait difficilement à s'étendre. Il

faut en excepter cependant la rive méridionale. Elle présente, en effet, des marais attenant aux terrains tertiaires du Roussillon, qui pourraient être isolés et desséchés sur une plus ou moins grande surface.

Le littoral du Roussillon, librement ouvert du côté de la Méditerranée, battu normalement par les vents d'est et de sud-est, se trouve dans des conditions favorables au développement des dunes qui l'ont envahi sur toute sa longueur.

Entre les trois affluents principaux, l'Agly, la Tet et le Tech, qui débouchent directement dans la mer, les cours d'eau de moindre importance se perdent dans des marécages qui ont plus d'analogie avec les clots qu'avec les étangs du Languedoc.

L'étang de Saint-Nazaire, seul, a une importance relativement assez considérable, et pourrait motiver une entreprise sérieuse de dessèchement. Nous croyons toutefois que la mise en état de produit des plages et marais qui, de l'étang de Leucate à Collioure, s'étendent sur une longueur de 25 kilomètres et une largeur de 2 à 3, résultera bien plutôt de l'emploi d'alluvions artificielles que de toute autre méthode.

Des torrents artificiels analogues à ceux que nous décrirons dans notre projet des Landes, pourraient être alimentés par des dérivations faites aux trois principaux affluents, à leur sortie des montagnes. Après avoir fécondé les plateaux caillouteux, le plus souvent arides et dénudés, de terrains diluviens dont l'ensemble constitue la grande plaine du Roussillon, ces torrents boueux viendraient combler les marécages du littoral et amender les plages salées de leurs derniers limons. Très-probablement même l'aile gauche de cette nouvelle formation pourrait s'étendre dans l'étang

de Leucate et, sinon, le combler en entier, tout au moins en restreindre la superficie dans des bornes plus étroites et mieux définies.

Mais ce n'est pas ici le lieu de nous étendre sur les applications possibles et les avantages d'une méthode dont le développement rationnel est pourtant le but essentiel de cet ouvrage. C'est en nous bornant surtout à l'emploi des procédés actuellement usuels, que nous avons recherché quelles améliorations agricoles il serait possible de réaliser sur les atterrissements naturels déjà formés entre les embouchures du Rhône et l'extrémité occidentale du littoral Français. L'emploi de la méthode des colmatages artificiels constitue une étude d'un ordre tout différent, qui trouvera sa place plus loin.

CVII.

Nous pouvons, en résumant la longue énumération qui précède, subdiviser comme au tableau ci-contre, au point de vue de leur utilisation immédiate, les terrains d'origine diverse qui forment la longue traînée de l'appareil littoral sur la droite du Rhône.

Sur une superficie totale de 63 000 hectares[1], déduction faite des terrains déjà en rapport, l'appareil littoral de nos côtes de la Méditerranée, en dehors du delta du Rhône, présente donc une surface de 28 000 hectares environ, soit les 4/9, qui paraîtrait susceptible de transformation agricole par les procédés que nous avons indiqués. La plus-value produite pourrait s'élever à plus de 100 millions. Le seul

[1] Si nous ajoutons aux surfaces ci-dessus, prises à l'ouest du Rhône, celles qui correspondent au delta de ce dernier fleuve, nous obtenons

DÉSIGNATION DES PARTIES SUCCESSIVES DU LITTORAL.	SURFACES totales.	SURFACES A CONSERVER		TERRAINS déjà cultivés.	SURFACES DE TERRAINS SALÉS A LIVRER A LA CULTURE.		PLUS-VALUE à réaliser.
		à l'état d'étangs.	à l'état de dunes ou plages sablonneus.		Formations marines.	Formations fluviales.	
Plaines basses de la rive droite du Vidourle...	h. 3.600	»	»	h. 2.000	»	h. 1.600	fr. 6.800.000
Cuvette et littoral de l'étang de Mauguio......	6.700	2.400	1.450	»	»	2.850	11.000.000
Cuvette et littoral des étangs et marais compris entre les graus de Palavas et de Cette..	4.200	3.000	400	»	600	200	2.000.000
Cuvette et littoral de l'étang de Thau.........	8.700	7.300	1.300	»	»	100	300.000
Delta de l'Hérault..........................	4.000	»	1.500	»	»	2.500	7.500.000
Littoral entre l'Hérault et l'Orb.............	2.000	»	1.000	»	»	1.000	3.000.000
Delta de l'Aude (chap. IV)....................	19.200	»	500	8.000	»	10.700	42.800.000
Étangs de Bages et de Gruissan.............	6.500	4.000	»	»	500	2.000	9.000.000
Étang de la Palme..........................	2.100	»	300	»	1.500	300	3.600.000
Étang de Leucate..........................	11.300	9.400	1.100	»	400	400	2.000.000
Littoral du Roussillon......................	5.000	»	2.000	»	2.000	1.000	7.000.000
Totaux..............	73.300	26.100	9.550	10.000	5.000	22.650	95.000.000

delta de l'Aude figurerait pour plus du tiers de l'étendue des terrains à conquérir, pour moitié environ du bénéfice attendu. En dehors de cette importante formation, que nous étudierons séparément, le reste appartient en grande partie aux alluvions marines, sablonneuses, sans cohésion, qui ne paraîtraient devoir devenir productives qu'à la condition de pouvoir être amendées par une suffisante proportion de limons fluviatiles.

A défaut des alluvions naturelles que l'on ne trouve pas sur place, les alluvions artificielles pourraient fréquemment servir à cet usage. Si, comme nous l'espérons, leur emploi vient un jour à se généraliser, nul doute qu'il ne soit possible de l'étendre, non-seulement aux terrains déjà indiqués comme pouvant être retranchés des étangs, mais à la presque totalité des plages littorales et à la majeure partie des étangs eux-mêmes. Nous en excepterions toutefois l'étang de Thau et partie probablement de celui de Leucate, qu'il y aurait avantage à conserver, dans l'intérêt de la pêche et de la navigation. Sauf ces deux exceptions, les nappes d'eau intérieures pourraient être comblées. Le domaine agricole, franchissant d'un bond les lagunes, s'étendrait jusqu'à la mer, supprimant complètement la lèpre de cette zone marécageuse qui rend aujourd'hui notre littoral si malsain et si misérable.

les chiffres suivants pour l'ensemble de l'appareil littoral sur les côtes du golfe du Lion.

		Hect.	Surface totale.
Surfaces déjà en culture		38,000	227,000 hect.
Surfaces à conserver	A l'état d'étang	31,000	
	A l'état de plages ou dunes	34,000	
Surfaces à livrer à la culture	Formations marines	33,000	
	Formations fluviales	91,000	

Plus-value totale à réaliser... 500,000,000 fr.

Ce résultat, nous en avons l'entière certitude, sera atteint tôt ou tard ; mais en attendant, la transformation agricole par les procédés usuels ne pourrait aujourd'hui embrasser, toujours en dehors du delta de l'Aude, plus de 17 000 hectares, et produire plus d'une cinquantaine de millions de plus-value. C'est beaucoup sans doute, moins toutefois que nous ne l'avions supposé *à priori*, avant de nous être rendu compte des différences essentielles qui séparent les sédiments de la mer des alluvions fluviatiles venues du continent.

Les dépenses en frais de premier établissement seraient très-probablement inférieures au capital créé. L'opération n'en présenterait pas moins des difficultés pratiques considérables, provenant du morcellement excessif de la propriété, de l'enchevêtrement des parcelles à assainir dans celles qui sont déjà en valeur. En revanche, aux résultats d'amélioration agricole pouvant se traduire en chiffres, il faudrait ajouter les avantages bien autrement considérables qui seraient réalisés au point de vue de l'assainissement.

Cette surface restreinte comprend en effet la totalité des formations mixtes, que se disputent tour à tour les eaux salées et les eaux douces, dont le mélange est la cause principale des émanations pestilentielles qui rendent notre littoral si insalubre.

A ce point de vue, la question intéresse doublement le bien-être général, et l'Administration, en prenant l'initiative des travaux du marais de Vic, a prouvé l'immense importance qu'elle attachait à la suppression de ce foyer d'infection.

CHAPITRE IV

DELTA DE L'AUDE. — ASSAINISSEMENT ET MISE EN VALEUR DE SON AILE GAUCHE.

CVIII.

Le delta de l'Aude est loin d'avoir la même importance que celui du Rhône ; sa monographie spéciale nous offrira cependant un intérêt tout particulier. Non-seulement nous y trouverons, en même temps que la confirmation de nos principes sur ce genre de formation, une heureuse occasion d'appliquer nos idées pratiques en fait de dessèchement ; mais encore, — par suite d'une circonstance toute locale, — les alluvions de ce cours d'eau étant en quelque sorte de formation relativement récente, nous pourrons de temps à autre rencontrer des documents historiques qui nous permettront d'en suivre les transformations et les développements successifs.

L'Aude prend sa source dans les Pyrénées, au point de jonction de la chaîne principale et de la chaîne secondaire du Canigou. Son bassin, limité au sud par les contreforts des Pyrénées, au nord par le revers des montagnes Noires, s'ouvre librement vers l'ouest sur la vallée de la Garonne, dont il n'est séparé que par des terres peu élevées, dépression naturelle de la ligne de faîte des deux mers, qui a été utilisée pour la traversée du canal du Midi.

La surface du bassin de l'Aude est en nombres ronds de

530 000 hectares, dont les versants extrêmes du sud et du nord appartiennent seuls aux terrains granitiques ou éruptifs, dont la très-majeure partie est occupée par les marnes et les calcaires de la formation crétacée et du terrain tertiaire moyen.

Bien qu'il ait été fait des observations hydrométriques assez suivies sur les hauteurs de la rivière vers son embouchure, nous n'avons pas de données qui nous permettent de calculer avec une complète précision les variations de son régime et son module moyen. Par analogie avec ce qui se passe sur la Garonne et sur le Pô, nous croyons qu'on pourrait admettre un débit annuel correspondant à l'écoulement d'une tranche uniforme de $0^m,40$ d'épaisseur, répartie sur tout le bassin.

Dans cette hypothèse très-vraisemblable, le débit total serait d'un peu plus de 2 milliards de mètres cubes; le module ou débit moyen par seconde, de 62 mètres cubes. Le débit à l'étiage paraît descendre à 5 mètres cubes par seconde, et celui des hautes eaux, dans les très-grandes inondations, s'élever à $3\,000^m$.

L'Aude est, de toutes nos rivières de France, une des plus limoneuses. La durée moyenne des eaux troubles, calculée pour une période décennale de 1850 à 1859, a été de 97 jours par an.

La proportion des limons, variable suivant l'origine des crues, est loin de croître avec leur importance. Les crues les plus faibles provenant de certains affluents inférieurs sont parfois les plus riches à ce point de vue. Des proportions de 1 à 2 p. °/₀ de limons ont été souvent constatées, mais on aurait tort de prendre ces résultats exceptionnels comme se rapprochant de la moyenne. Nous avons à cet égard un renseignement plus précis.

Des essais de colmatage, sur une grande échelle, avec les eaux de l'Aude, ont été tentés au dernier siècle pour le comblement de l'étang de Capestang. Les ouvrages construits à cet effet par les États de Languedoc n'ont fonctionné que pendant trois ans, de 1783 à 1786. Il a été fait, durant cette période, des observations régulières dont nous avons eu les registres sous les yeux. Nous en avons déduit que le cube moyen de l'atterrissement produit s'était élevé à 120 000 mètres cubes par an. Nous ignorons quelle a été la quantité d'eau réellement introduite ; mais en prenant pour terme de comparaison la période qui s'étend de 1850 à 1859, nous avons trouvé que la quantité d'eaux troubles qu'on aurait pu dériver dans l'étang par les canaux des États supposés restaurés, aurait été en moyenne de 100 millions de mètres cubes par an. Appliquant ce chiffre aux premières observations, nous trouverons pour la teneur moyenne des eaux troubles en limons, une proportion de $0^{m},0012$.

La période des eaux limoneuses, dans sa durée de près de cent jours, paraît correspondre à un écoulement des deux tiers environ du débit total, soit à 1 400 millions de mètres d'eaux troubles représentant une masse de sédiments de 1 700 000 ^{m} environ. C'est le dixième du produit du Rhône pour une surface de bassin et probablement pour un débit vingt fois moindre. Les eaux de l'Aude seraient donc moyennement deux fois plus chargées que celles du Rhône, ce qui ne nous paraît avoir rien que de très-vraisemblable.

Nous ne donnons cependant ces résultats que comme une approximation propre à fixer les idées et à mieux faire apprécier l'importance qu'il y aurait à poursuivre sur chacune de nos rivières un ensemble d'observations pouvant faire connaître les divers éléments de son régime moyen, —

et principalement : la hauteur annuelle des eaux pluviales, le module ou débit moyen, les débits relatifs d'étiage et de grande crue, la proportion des eaux limoneuses, leur richesse moyenne et totale en alluvions.

Le delta de l'Aude (*Pl.* I) a une superficie relativement assez étendue qu'on ne saurait évaluer à moins de 19 000 hectares. Ce qui le caractérise, ainsi que nous l'avons déjà dit, c'est qu'il ne s'est pas produit dans une mer libre ou dans une lagune fermée par un cordon littoral; il s'est formé dans une sorte de mer intérieure, dans un golfe isolé du large par une chaine d'îles escarpées, les montagnes de la Clape, aujourd'hui réunies à la terre ferme.

Dans l'état actuel, deux canaux creusés ou rectifiés de main d'homme, la roubine de Narbonne qui coule vers le sud-est, la rivière de l'Aude proprement dite qui se dirige à l'est, dessinent à partir du barrage de Mussolens la forme intérieure de ce delta, qui n'a pas moins de 25 kilomètres de côté. La majeure partie du triangle embrassé comprend, il est vrai, les terrains élevés de la montagne de la Clape, qui se trouve occuper l'emplacement dans lequel se forme d'ordinaire le marais central du delta. Nous avons retrouvé pareille disposition à l'embouchure de l'Hérault, dont les atterrissements se sont également distribués autour de la montagne d'Agde. C'est surtout à l'extérieur des deux bras de l'Aude, sur la rive droite de la roubine de Narbonne, sur la rive gauche du bras principal, que s'étendent les alluvions modernes.

La Roubine a complètement atterri aujourd'hui l'espace compris entre l'île de la Clape et le continent sur une longueur de 25 kilomètres, s'étendant bien au-dessous de la ville de Narbonne. Dans sa partie inférieure toutefois, cette branche de l'Aude, bien qu'elle se continue jusqu'à la mer,

où elle constitue le port de La Nouvelle, n'a pu former encore qu'une étroite langue de terre que ses alluvions épaississent chaque jour, et qui sépare l'un de l'autre les deux étangs de Gruissan et de Bages, fragments du golfe primitif. Ces deux étangs communiquent aujourd'hui librement avec la mer, le premier par les graus de Grazelle et de la vieille Nouvelle, le second par l'intermédiaire de la Roubine et du grau de La Nouvelle.

Sur la rive gauche du bras principal de l'Aude (*Pl.* IV), les atterrissements ont été plus complets et s'étendent en réalité sur toute la longueur de 25 kilomètres, comprise entre le barrage de Mussolens et la mer. Toutefois, la côte septentrionale de l'ancienne mer intérieure se trouvant découpée par des criques profondes et nombreuses, les alluvions n'ont pu pénétrer également sur tous les points. Elles se sont, d'après la loi générale, uniformément répandues à partir de la berge de l'Aude, suivant un plan incliné, dont la pente régulière se prolonge dans les golfes les plus profonds, où subsistent des marais ou des étangs; dont le talus, au contraire, s'est arrêté à la rencontre des promontoires saillants, où se trouvent dès-lors des seuils relativement élevés qui arrêtent l'écoulement des étangs supérieurs.

Le plus considérable de ces étangs ainsi laissés en dehors du champ naturel des alluvions, est celui de Capestang, dont le débouché se trouve à 14 kilomètres de la mer, avec laquelle il ne communique plus librement, comme le fait encore l'étang de Vendres, situé près de l'embouchure, comme nous avons vu que le faisaient les étangs de Bages et de Gruissan sur la rive droite. De là, une différence notable dans la nature des eaux, qui sont douces pour l'étang de Capestang, salées ou saumâtres, suivant la saison, pour les autres.

CIX.

Cet état actuel que nous venons de décrire est, avons-nous dit, d'existence relativement moderne. Les alluvions paraissent n'avoir marché que très-lentement à l'origine de notre période géologique : soit que l'Aude, antérieurement aux déboisements qui se sont opérés sur divers points de son bassin, n'ait pas toujours eu la puissance de colmatage qu'elle a aujourd'hui ; soit que la mer intérieure, à son origine, au débouché de l'estuaire, eût une profondeur relativement plus grande que sur les côtes de l'île de la Clape. A l'époque de la domination Romaine, les atterrissements ne devaient être que très-peu avancés. Sur la gauche, ils ne dépassaient probablement pas Coursan, et sur la droite Narbonne.

Des témoignages authentiques établissent quel était à peu près l'état des lieux vers cette époque. Nous les trouvons pour la plupart réunis dans une thèse pour le doctorat soutenue par M. Joseph de Martin, qui parait avoir fait une étude particulière des origines de Narbonne, sa ville natale.

La mer intérieure s'étendait sans interruption de Capestang à La Nouvelle, comme un immense lac appelé par Strabon *Narbonensis,* par Mela *Rubresus,* par Pline *Rubrensis.*

Sidoine Apollinaire parle des îles qui séparaient ce lac de la mer :

L'île du lac (*insula a lacu*), qui n'est autre que la montagne de la Clape, embrassée aujourd'hui dans les alluvions de l'Aude;

L'île de Gruissan, qui existe encore, probablement à peu près telle qu'elle était alors, limitée par les deux graus qui réunissent l'étang de ce nom à la mer;

L'île de Sainte-Lucie ou de Leucate, circonscrite par la mer et l'étang, et que les alluvions ou les travaux de curage de la Roubine ont aujourd'hui soudée au continent.

Strabon, Pline, Festus Avinus, citent Narbonne comme située à l'embouchure même de l'Aude, ou tout au moins de son bras principal. Le port, entretenu et amélioré sous les premiers empereurs, était un des principaux entrepôts du midi de la Gaule, et contribua par son importance à assurer la prospérité et le développement de cette métropole. Les terres d'alluvion qui entouraient la ville et formaient le delta très-réduit de l'Aude, ayant un écoulement facile vers la mer intérieure, rachetaient sans doute leur peu d'étendue par leur fertilité. Aucun marais n'existait à cette époque. Narbonne n'était pas moins renommée par la salubrité de son climat que par la richesse de son territoire[1].

A part les documents historiques que nous venons d'énumérer, d'après M. de Martin, nous pourrions citer des observations personnelles qui nous avaient déjà convaincu de la continuité des étangs et de leur libre communication avec la mer, à l'époque de la domination Romaine. Nous en avions trouvé une preuve évidente dans les vestiges de la voie romaine de Béziers à Narbonne, qui existent encore dans la traversée de l'étang de Capestang.

La chaussée de cette route, la majeure partie des ponts dont elle est percée, sauf une arche marinière plus élevée que les autres, se trouvent aujourd'hui enfouis sous les alluvions à un niveau inférieur à celui des eaux moyennes de l'étang.

La faible élévation de cette chaussée, qui n'atteint pas

[1] *Salve, Narbo, potens salubritate.....*
Sidoine Apollinaire, 23.

$1^m,50$ au-dessus des mers basses, ne pourrait évidemment se comprendre si l'on n'admettait sa construction sur le bord même de la mer ou sur la rive d'un étang en libre communication avec elle, dans les conditions où se trouve aujourd'hui la chaussée de la route impériale qui longe l'étang de Thau, ou celle de la route de Cette qui franchit l'étang de la Peyrade.

Cette situation résultant de la libre communication de tous les étangs, aujourd'hui comblés ou séparés, parait s'être continuée longtemps encore après la colonisation romaine.

Nous ignorons à quelle époque précise l'île du Lac ou de la Clape a été réunie au continent : mais une charte, datée du règne de saint Louis, relative à la concession du desséchement de l'étang de Montady, mentionne des salines existant sur le bord de l'étang de Capestang. On ne saurait trouver une preuve plus évidente que l'étang de ce nom était encore, ou avait depuis peu de temps cessé d'être en libre communication avec la mer, dans des conditions analogues à celles où se trouve aujourd'hui l'étang de Vendres, situé à l'embouchure de l'Aude.

Le grand atterrissement qui a comblé, sur une longueur de 14 kilomètres, la lagune comprise entre l'extrémité de l'étang de Capestang et la mer, s'est donc produit dans une période toute moderne, dans les six cents ans qui nous séparent du règne de saint Louis.

Le développement désordonné des alluvions, qui a coïncidé avec la décadence de Narbonne, s'il ne l'a accélérée, parait également remonter au XIIIe siècle pour la rive droite. Les chroniques de cette époque abondent en lamentations sur les désastres causés par les inondations, sur les sacrifices et les efforts infructueux qu'il fallut faire pour essayer de con-

tenir l'Aude dans les crues, en même temps que pour l'empêcher d'abandonner complètement le port de Narbonne.

En 1320, la digue qu'on avait élevée à Sallèles dans ce dernier but, surmontée par une forte crue, fut totalement entraînée, et la rivière, abandonnant son ancien lit, s'écoula tout entière dans la direction de Cuxac et de Coursan, qu'elle n'a pas cessé de suivre depuis.

Ce désastre fut terrible pour la ville de Narbonne, qui non-seulement vit anéantir les derniers restes de son commerce, mais se trouva même un moment complètement dépourvue de l'eau nécessaire aux premiers besoins de sa population et de son industrie.

Suivant les vicissitudes du cours de l'Aude, —semblable à ces grandes cités de l'Inde que le voisinage du Gange a fait naître, qu'un simple déplacement du fleuve suffit pour anéantir et transformer en déserts ou marais pestilentiels, —Narbonne, la plus puissante des cités de la Gaule méridionale, devint au moyen-âge une malheureuse bourgade que ses derniers habitants furent même sur le point d'abandonner entièrement. Ils songèrent en effet sérieusement à se transporter à Leucate, lorsque les désastres de l'invasion anglaise et la peste qu'elle entraîna à sa suite vinrent se joindre aux fléaux de la nature.

Grâce aux efforts persévérants de sa population, à l'influence qu'exerçaient ses archevêques, présidents-nés des États de Languedoc, Narbonne traversa pourtant cette période, dans laquelle s'est accompli le morcellement du grand lac, la séparation des divers étangs qui subsistent aujourd'hui.

Ce vaste atterrissement, livré aux soins du hasard, s'est opéré dans les conditions les plus désastreuses pour la

salubrité publique. Des flaques d'eaux stagnantes, isolées de toute part au milieu des terres à demi émergées, ont formé autant de marais insalubres dont l'assainissement n'a cessé, pendant des siècles, de préoccuper les administrateurs de la ville de Narbonne. Il a été exécuté ainsi des travaux considérables pour l'époque où ils ont été entrepris, notamment plusieurs canaux dérivés de l'Aude, tels que le canal de Lastours, celui de Grandvignes, celui de Sainte-Marie. Tour à tour destinés au colmatage et à l'écoulement des eaux claires, comblés et recreusés sans cesse, au prix de dépenses et d'efforts qu'il eût été sans doute possible de réduire si l'on avait opéré sur des bases rationnelles, ces canaux n'en ont pas moins, en fin de compte, à demi atteint le but qu'on se proposait, en assainissant les abords mêmes de la ville, en refoulant à distance les marais les plus insalubres. Ce n'est pas, tant s'en faut, qu'il ne reste plus rien à faire aujourd'hui. Les terres déjà émergées entre la bifurcation de l'Aude et l'étang de Bages sont loin d'être toutes également dans un état convenable d'assainissement. Par l'emploi des méthodes que nous avons indiquées, il n'est pas douteux pour nous qu'on ne puisse parvenir, un jour ou l'autre, à approprier pour la culture tout ou partie des étangs de Bages et de Gruissan, derniers restes de l'ancienne mer intérieure. Narbonne alors, assise au centre d'un territoire dix fois plus considérable que celui qu'elle avait sous la domination Romaine; desservie par deux chemins de fer suppléant son ancien port, pourra de nouveau prétendre au rang qu'elle occupait autrefois parmi les villes du midi.

CX.

Il n'entre pas dans notre cadre de poursuivre dans la partie méridionale du delta de l'Aude l'étude des projets qui pourront rendre à l'antique cité la célébrité qu'elle s'était acquise, autant par la salubrité de son climat que par la fertilité de son territoire. Rentrant dans les limites plus restreintes du service public dont nous avons été momentanément chargé, nous ne nous occuperons que des terrains formant la rive gauche du bras principal de l'Aude, sur lesquels ont plus particulièrement porté nos études personnelles.

Cette zone, comprise entre le barrage de Mussolens et la mer (*Pl.* IV) sur une longueur de 25 kilomètres environ, est limitée au sud par le bras principal de l'Aude, et suit au nord les sinuosités primitives des coteaux qui bordaient autrefois la mer intérieure, dans laquelle se sont déposées les alluvions. La surface de ces terrains est d'environ 700 hectares plus ou moins atterris, répartis entre les deux départements de l'Hérault et de l'Aude à peu près également quant à la surface, très-inégalement quant à la valeur ; car, tandis que tous les terrains du département de l'Aude sont à peu près émergés, 3 000 hectares sur 3 500 se trouvent encore submergés d'une manière presque permanente, dans le département de l'Hérault, où ils constituent les étangs de Capestang et de Vendres et les marais de Nissan et de Lespignan. Cette différence d'état résulte de la distance respective des terrains à la rivière d'Aude, à partir de laquelle les alluvions se sont épanchées suivant un plan uniformément incliné vers les coteaux.

Dans le cas le plus habituel, celui où les dépôts d'allu-

vions s'opèrent dans un estuaire creusé par un courant diluvien, les coteaux qui limitent cet estuaire sont, sinon parallèles, du moins régulièrement évasés. La zone marécageuse et déprimée qui se trouve à l'embouchure du plan incliné des alluvions présente dès-lors une direction sensiblement rectiligne, une pente continue suivant laquelle s'écoulent, les eaux d'égouttage et les petits affluents en temps ordinaire, les eaux débordées à l'époque des crues. La formation n'est pas aussi simple lorsque, au lieu de se produire dans un estuaire, les alluvions se déposent dans un golfe irrégulier aux profondes découpures, comme celui qui leur a servi de champ sur la rive gauche de l'Aude. A chaque anfractuosité de la côte primitive correspond un marais ou un étang d'autant plus déprimé qu'il s'enfonce plus avant dans les terres. A chaque cap, au contraire, correspond un point haut, un seuil qui arrête tout écoulement des eaux supérieures.

En jetant un coup d'œil sur la carte, on reconnait trois golfes et autant de caps qui ont déterminé la forme actuelle des basses plaines de la rive gauche de l'Aude. Le premier de ces golfes, le plus important de beaucoup, est celui qui s'étend de Coursan à Capestang sur une distance de près de 10 kilomètres à partir de la rivière.

Il est bordé à l'est par une ligne de coteaux qui présentent leur point le plus saillant au cap de la Vernède, à 15 kilomètres de la mer. La dépression principale, dirigée du sud au nord, se prolonge vers l'est par une anse secondaire formant le petit bassin de l'étang de Polhes. Viennent ensuite, en face de Nissan et de Lespignan, les marais de même nom, compris entre les promontoires de la Vernède et de Clodinières, et enfin le golfe de Vendres, limité du côté de la mer par une chaine d'anciennes dunes se ratta-

chant au plateau diluvien qui sépare les bassins de l'Orb et de l'Aude.

Un grau spécial donne issue à l'étang de Vendres ; mais les deux golfes supérieurs ont leur écoulement naturel intercepté par le seuil de Clodinières, plus élevé de 1m,00 que le fond des marais de Lespignan ; par le seuil de la Vernède, dont le point le plus bas est à la cote 2m,50, tandis que certains points de la cuvette de l'étang de Capestang sont en contrebas du niveau de la mer.

Une digue faite de main d'homme, la digue d'Aloude ou de Londres, met à l'abri des débordements latéraux de l'Aude et isole des plaines de Cuxac et de Coursan la partie la plus profonde du golfe supérieur qui forme la cuvette de l'étang de Capestang proprement dit.

En tenant compte de l'existence de cette digue, — sans nous inquiéter des délimitations administratives, qui malheureusement ont contribué à créer des dissidences et des antagonismes entre les propriétaires, qui cependant ne devraient avoir qu'un intérêt commun, — l'ensemble des basses plaines de la rive gauche de l'Aude se divise naturellement en quatre groupes distincts, qui sont :

1° Les terrains compris entre l'Aude et la digue de Londres, depuis Sallèles jusqu'à la Vernède ;

2° L'étang de Capestang et ses dépendances ;

3° Les terrains et marais compris entre les deux caps de la Vernède et de Clodinières ;

4° L'étang de Vendres et ses abords entre le cap de Clodinières et l'embouchure.

Chacun de ces groupes, en dépit des rivalités de clocher mal entendues qui les subdivisent, a été, par la force naturelle des choses, amené à tenter des travaux d'ensemble pour l'amélioration du territoire commun.

Le groupe inférieur de l'étang de Vendres, qui, à part une étroite lisière de terres cultivées sur la berge de l'Aude, est à l'état de marais ou d'étang plus ou moins permanent, a, nous l'avons dit, un écoulement direct par un grau particulier s'ouvrant dans la mer à peu de distance de l'embouchure de l'Aude.

Les plaines de Nissan et de Lespignan, également marécageuses sur plus de moitié de leur étendue, déversent leurs eaux dans l'étang de Vendres par le canal de la Matte, rigole d'évacuation insuffisante qui franchit le seuil de Clodinières et se trouve dans un fort mauvais état d'entretien.

L'étang de Capestang et le groupe supérieur comprenant le territoire des communes de Cuxac et de Coursan, ont un écoulement distinct dans la rivière d'Aude, en amont du cap de la Vernède, par les canaux de la France et de la Vernède, dont le premier est complètement atterri, tandis que le dernier, servant plus spécialement de canal de fuite à l'étang de Capestang, a été récemment l'objet de quelques améliorations de la part de la Compagnie concessionnaire du desséchement.

Ces divers canaux sont destinés à l'égouttage et à l'assèchement des terres. En temps d'inondation, la masse des eaux débordées s'écoule en nappe, le long de la digue de Londres et des coteaux jusqu'à l'étang de Vendres.

CXI.

Le canal de la France et le canal de la Vernède, établis dans cette idée fausse que la rivière d'Aude devait être le débouché naturel des terres riveraines, ne fonctionnent d'une manière convenable que pendant l'été. A l'époque des crues, même les plus faibles, l'Aude, coulant à pleins

bords, se maintient entre ses digues à un niveau supérieur au plafond de ces canaux, qui, agissant au rebours de leur destination, ramènent les eaux de l'Aude dans les plaines basses au lieu de les assécher. Cet inconvénient n'a cessé de préoccuper les propriétaires du groupe supérieur, le plus important par l'étendue et la valeur des terrains qui le composent.

Après de longues discussions, on reconnut enfin la nécessité de renoncer au débouché actuel du canal de la France, et l'on proposa l'ouverture d'un nouveau canal qui, recoupant le seuil de la Vernède au départ, irait déboucher directement dans la mer, en empruntant, sur une partie de son parcours, un bras du vieux lit de l'Aude, formant la limite des deux départements, à mi-hauteur du revers incliné qui constitue le troisième des quatre groupes que nous avons distingués.

Pour arriver à l'exécution de ce projet, conçu à l'origine dans l'unique intérêt des communes de Coursan et de Cuxac, on crut bien faire de comprendre tous les propriétaires du département de l'Aude dans un syndicat unique embrassant à la fois toutes les terres du delta, sur les deux rives du bras principal comme sur celles de la Roubine, depuis la digue de Londres jusqu'à la mer d'une part, jusqu'à l'étang de Bages de l'autre.

Ce vaste syndicat, ayant pour but le rétablissement des canaux de Sainte-Marie et autres sur la rive droite, en même temps que l'établissement du canal de la rive gauche, embrassait des intérêts trop différents, trop opposés, pour qu'il fût possible de les amener à une entente commune. Aussi ne doit-on pas s'étonner si, après de vains efforts pour se constituer, l'association, au bout de seize ans, n'est arrivée qu'à s'endetter d'une dizaine de mille francs en frais

préparatoires de levers de plan et de classification des terrains.

L'idée du canal de la rive gauche, favorablement accueillie par les communes supérieures, qui lui avaient décerné d'avance le nom de canal *du Salut*, ne pouvait d'ailleurs que soulever une opposition générale dans les communes inférieures du département de l'Hérault, Nissan, Lespignan et Vendres. Tel qu'il avait été projeté, ce canal devait en effet les isoler de la rivière d'Aude, les priver à tout jamais du débordement des eaux troubles, tout en les assujétissant, sans compensation, à recevoir sur leur territoire les eaux claires dépouillées de leurs limons dans la région supérieure.

Après de nombreuses conférences entre les ingénieurs des deux départements, nous nous accordâmes avec notre collègue de Narbonne pour demander que le canal du Salut, partant toujours du seuil de la Vernède, au lieu de se diriger en ligne droite vers l'embouchure, suivît le contour des marais de Nissan et de Lespignan jusqu'au seuil de Clodinières. A partir de ce point, pour être conséquent avec nos principes, ce canal devrait se continuer, dans la direction du canal de la Matte, jusqu'à l'étang de Vendres. Son emplacement théorique serait en effet marqué à la lisière nord-est de l'étang, si le comblement de ce dernier étang devait résulter du prolongement naturel et progressif du plan incliné des alluvions de l'Aude.

Cette dernière déviation, qui aurait l'inconvénient d'allonger le parcours en diminuant la pente longitudinale du canal d'évacuation, doit être subordonnée cependant à la décision qui sera prise pour le dessèchement de l'étang de Vendres.

Elle serait naturellement indispensable si ce dessèche-

ment devait s'opérer par voie de colmatage continu ; mais, quelque avantageuse que soit cette méthode dans son résultat final, quelque accélération qu'on puisse lui imprimer, elle n'en exigerait pas moins un temps très-long, une période probablement plusieurs fois séculaire, pour être menée à bonne fin. On doit se demander dès-lors s'il ne serait pas préférable d'isoler complètement la cuvette de l'étang de Vendres, pour en faire un polder qui serait desséché par machines, dessalé par lessivage, dans les conditions du système général que nous avons exposé dans les chapitres précédents.

Si cette combinaison était admise, rien ne s'opposerait à ce que le canal du Salut vînt directement déboucher dans la mer à l'embouchure de l'Aude, sans contourner l'étang de Vendres, qu'il laisserait en dehors de son tracé. Partant toujours du seuil de la Vernède, ce canal devrait avoir son plafond en ce point à la cote + 0,25. Sa longueur jusqu'à la mer serait de 17 kilomètres et sa pente de fond de 0,^{m}06 par kilomètre.

On n'a pas moins varié sur les dimensions que sur le tracé à donner au canal du Salut. Nous croyons devoir d'autant moins insister sur ces questions de détail que, contrairement à notre attente, les propositions faites de concert avec notre collègue de l'Aude n'ont pas été comprises par les intéressés, et qu'il est à craindre que, pendant fort longtemps encore, les basses plaines et les étangs de la rive gauche de l'Aude ne restent dans l'état déplorable où nous les voyons aujourd'hui.

Nous nous bornerons donc à résumer sommairement quel serait, à notre avis, par application des principes déjà posés, le meilleur parti à prendre pour assurer la mise en valeur plus ou moins prompte des quatre groupes distincts

entre lesquels nous avons divisé tout le territoire, savoir :

Basses plaines en amont de la Vernède ;

Étang de Capestang ;

Basses plaines en aval de la Vernède ;

Étang de Vendres.

L'établissement du canal du Salut suivant les directions et dans les conditions que nous avons indiquées, assurerait l'écoulage rapide de la masse principale des eaux débordées de l'Aude, dans les trois premiers groupes.

Pour compléter l'amélioration des plaines latérales constituant le premier et le troisième groupe, il serait nécessaire d'arrêter l'emplacement définitif des canaux de colmatage secondaires dérivés de l'Aude, qui, dirigés normalement vers le coteau avec une section décroissante à partir de la rivière, constitueraient autant de faîtes de deuxième ordre, dont le relief relatif s'accentuerait de plus en plus à mesure que de nouveaux apports de limons relèveraient les talus latéraux.

Dans l'intervalle de ces canaux de colmatage secondaires seraient établis des canaux de dessèchement, également de deuxième ordre, à section croissante, qui formeraient les thalwegs invariables des petites vallées latérales. Ces canaux viendraient déboucher dans le canal principal de dessèchement, qui, autant que possible, ne devrait recevoir que des eaux claires débarrassées de tous leurs troubles par leur déversement et leur dépôt sur l'ensemble du grand plan incliné.

Comme moyen d'exécution, deux syndicats distincts administreraient les canaux secondaires, régleraient tout ce qui concerne la répartition des eaux pour le premier et le troisième groupe. Un syndicat général, dont les propriétaires des étangs de Capestang et de Vendres feraient partie,

au même titre que les représentants des deux syndicats des plaines latérales, centraliserait en une administration unique les intérêts généraux des basses plaines, pour tout ce qui concerne l'établissement et l'entretien du canal du Salut.

CXII.

L'étang de Vendres, laissé entièrement en dehors du champ d'inondation, n'aurait à contribuer aux dépenses que pour l'établissement de la berge gauche du canal du Salut, qui devrait être complètement insubmersible. Cet étang ne reçoit directement d'autres eaux que celles d'un petit nombre de ravins qui pourraient être facilement déversés dans un canal de ceinture établi dans des terrains à un niveau naturellement supérieur à celui de la digue de garde. Ce canal de ceinture déboucherait dans le canal du Salut, d'une part près le seuil de Clodinières, de l'autre à l'embouchure près de la mer.

Le circuit ainsi formé embrasserait une superficie de 1 700 hectares qui, pour la presque totalité aujourd'hui, appartiennent à trois propriétaires. Rien ne serait plus aisé dès-lors que de transformer cette enceinte en un polder qui serait maintenu à sec par des machines d'épuisement installées à l'emplacement actuel du grau de Vendres. Les parties les plus basses de l'étang sont à la cote — 1^m. Admettant pour régime régulier que les eaux doivent être maintenues à 0,75 en dessous de cette cote, et qu'elles devront être élevées généralement à la cote + 0,50, que le niveau de la mer dépasse rarement, nous aurons à produire une élévation normale de $2^m,25$.

Des tympans analogues à celui qui fonctionne au marais de Vic, nous paraîtraient être les engins les mieux appro-

priés à cet épuisement. Nous croyons cependant qu'il serait avantageux de diviser en deux étages la hauteur d'élévation à produire. A cet effet, il serait établi deux canaux de desséchement distincts, dont le niveau normal, correspondant au maximum de travail des machines, serait — 1,75 pour le canal inférieur, — 0,65 pour le canal supérieur. Cette disposition, en même temps qu'elle n'exigerait pas de tympans d'un trop grand diamètre, aurait l'avantage de mettre à profit la hauteur relative des eaux de la première zone, qui se rendraient naturellement dans le canal supérieur, sans nécessiter un travail inutile d'élévation.

La puissance des machines pourrait être calculée dans l'hypothèse d'un travail régulier à effectuer dans un mois très-pluvieux, qui donnerait une tranche d'eau de 0m,30, dont les 2/3, soit une couche de 0m,20, devraient être enlevés par les machines. Le cube total à élever serait de 3 millions et demi de mètres cubes. En tenant compte de la superficie des deux zones déterminées par le canal de desséchement, 2 millions de mètres cubes correspondant à la zone supérieure n'exigeraient qu'une élévation de 1m,10 ; le reste, devant être repris deux fois, demanderait au contraire une élévation de 2m,25. Le travail total à produire serait donc de 5 600 000 dynamies pour la durée totale du mois, soit 190 000 dynamies par jour. En comptant sur un travail régulier de 16 heures sur 24 pour les machines, la force effective de ces machines devrait être de 44 chevaux, ce qui correspondrait à une force nominale de 70 chevaux environ. Les terrains, isolés et desséchés comme nous venons de le dire, seraient drainés, dessalés et mis en culture dans des conditions analogues à celles que nous avons esquissées (XCVII) pour le projet du domaine type à installer dans la Camargue.

Les eaux nécessaires au dessalement seraient prises à l'Aude. La dérivation pourrait sans inconvénient traverser le canal du Salut au moyen d'un barrage mobile qui serait abaissé en temps d'inondation. Les machines d'épuisement seraient disposées de manière à pouvoir au besoin relever artificiellement les eaux à la hauteur des terres les plus hautes, qui ne pourraient être atteintes par le niveau naturel de l'Aude. Cette rivière suffirait largement aux besoins du lessivage pendant la saison des eaux moyennes, de l'automne au printemps; mais elle ne pourrait, comme le Rhône, pourvoir en tout temps à l'irrigation. Dans l'état actuel, en effet, les eaux d'étiage sont toutes absorbées en été par le canal du Midi, les irrigations de la Roubine de Narbonne et celles qui se font en amont dans l'étang de Marseillette. Sous ce rapport, l'étang de Vendres se présenterait donc dans des conditions moins favorables que les terrains de la Camargue.

L'opération n'en serait pas moins très-fructueuse. Une irrigation facultative en tout temps est sans doute d'une grande valeur pour une exploitation agricole, mais n'est nullement indispensable. Les terrains du voisinage n'en jouissent pas, et cependant ils valent parfois jusqu'à 8 et 10,000f l'hectare, dans des fonds dont le sol n'a aucune supériorité sur celui de la cuvette de l'étang de Vendres.

Nous ne croyons pas indispensable de chercher à préciser le prix de revient de la transformation dont nous venons d'exposer les bases. A raison de la nécessité où l'on se trouverait d'établir une digue de garde vers l'Aude et un canal de ceinture qui devrait couper et probablement englober des terrains cultivés; — à raison aussi de la nécessité d'élever les eaux un peu plus haut, — ce prix dépasserait sans doute celui auquel nous sommes arrivé

pour la Camargue, qui était de 2 000f environ pour le total du terrain embrassé dans le périmètre du polder. La différence ne serait pourtant pas très-considérable, et le prix définitif n'atteindrait certainement pas 2 300f en surface totale, soit 2 500f en surface réellement cultivable, déduction faite de l'emplacement des digues, canaux, etc.

Dans ces conditions, le capital engagé dans l'opération s'élèverait à 4 millions pour une superficie de 1 700 hect., dont 1 500 au moins se trouveraient, au bout de quatre ou cinq ans, dans un parfait état de culture, égal, sinon supérieur, à celui des meilleures terres de la contrée, dont le prix moyen est deux ou trois fois plus élevé.

CXIII.

L'étang de Vendres, par la facilité avec laquelle on peut l'isoler du champ général de l'inondation, le transformer en polder distinct, est, dans les quatre groupes entre lesquels nous avons réparti les terrains de la rive gauche de l'Aude, celui qui se prête le mieux à l'application de nos méthodes. C'est cependant celui sur lequel il a été jusqu'à ce jour fait le moins d'essais de mise en valeur.

Les efforts de l'Administration supérieure et de l'industrie privée se sont surtout portés sur l'étang de Capestang, dont la transformation nous paraît néanmoins présenter des difficultés beaucoup plus considérables, dont on est, du reste, bien loin d'avoir triomphé jusqu'ici.

Nous avons vu quels changenents se sont opérés dans le régime et l'assiette de cet étang pendant une période historique relativement récente, à partir de la domination Romaine et même du règne de saint Louis. A cette dernière époque, les eaux de l'étang se trouvaient assez fortement

salées pour alimenter des salines. Il devait être dès-lors en communication à peu près directe avec la mer, dont il est séparé aujourd'hui par une distance de 15 kilomètres, complètement atterrie par les dépôts de l'Aude.

A mesure que ces alluvions s'étendaient vers la mer, elles ont dû naturellement relever le niveau habituel des eaux de l'étang, les refouler vers son extrémité septentrionale qui, par son éloignement de la rivière, se trouvait complètement à l'abri des dépôts de limon. On est donc forcé d'admettre que dans les derniers temps historiques, l'étang a dû subir une sorte de déplacement continu; qu'il a été de plus en plus repoussé vers le bourg de Capestang à l'amont, à mesure que la mer s'éloignait de lui à l'aval.

Dans l'état actuel, le littoral de la Méditerranée est, sans doute, définitivement arrêté à l'embouchure du lit principal de l'Aude, les alluvions de cette rivière ne paraissant pas pour le moment empiéter sur la pleine mer; mais si le delta est limité quant à son prolongement longitudinal, il ne cesse pas de s'accroître en hauteur par de nouveaux dépôts de limons, qui, à la suite de chaque crue, se superposent sur les plaines latérales et sur le fond de l'étang de Vendres, dans lequel ces plaines latérales se terminent.

Cet exhaussement graduel des terres basses en aval de l'étang de Capestang se fait naturellement sentir sur le niveau d'écoulement de cette dernière nappe d'eau, qui doit continuer à se relever, comme elle n'a cessé de le faire depuis le moyen âge. Si, par le fait de sa participation aux dépôts limoneux des crues de l'Aude, sa rive méridionale peut s'améliorer de jour en jour, sa rive septentrionale, en revanche, sera de plus en plus exposée à être graduelle-

ment submergée, tant qu'on n'aura pas trouvé le moyen, soit d'abaisser artificiellement le niveau des eaux d'inondation, soit d'exhausser le sol qu'elles tendent à recouvrir.

De là, deux systèmes principaux auxquels ont été rapportés les nombreux projets qui depuis près de trois siècles n'ont cessé d'être présentés pour l'amélioration ou le desséchement complet de l'étang de Capestang.

Les premières tentatives faites dans ce but remontent au règne de Henri IV. Il paraîtrait même, si l'on doit s'en rapporter aux traditions locales, qu'on aurait obtenu quelques résultats des premiers travaux, et qu'on serait parvenu à isoler par des digues et à mettre en culture une certaine partie de l'étang desséchée par des machines, comme les marais hollandais.

Ce premier succès n'eut rien de durable : l'étang ne tarda pas à retourner à son état primitif. On n'en continua pas moins à se préoccuper de son desséchement. De nombreux projets furent étudiés dans le courant des XVII^e et XVIII^e siècles ; et, peu avant la Révolution, les États de Languedoc, qui marquèrent les dernières années de leur existence par l'initiative d'un très-grand nombre de travaux d'utilité publique,—renonçant aux méthodes d'épuisement des ingénieurs hollandais,—eurent recours à l'emploi du système tout différent des colmatages, à l'imitation de ce qui s'était fait dans divers États de l'Italie.

On ouvrit, à cet effet, deux grands canaux, l'un de colmatage, destiné à amener dans l'étang les eaux troubles de l'Aude, prises au barrage de Mussolens, en un point où les crues s'élèvent parfois jusqu'à la cote 15^m au-dessus du niveau de la mer ; l'autre, d'évacuation, destiné à ramener dans la rivière de l'Aude, en face du promontoire de la Vernède, les eaux dépouillées de leurs limons.

Ces canaux furent terminés en 1783. Ils ne fonctionnèrent que pendant trois ans. Les atterrissements qu'ils ont produits sont encore visibles, et l'importance en a été constatée par des procès-verbaux de sondage, qui ont été conservés. La surface colmatée pendant cette période représente une surface de 60 ou 70 hectares, qui sur aucun point n'a été amenée à une hauteur suffisante pour être mise en culture. A en juger par de tels résultats,—ne donnant aucun produit immédiat capable de compenser en partie les dépenses considérables que les travaux avaient coûtés et que réclamait leur entretien, — on conçoit que l'entreprise n'ait pas été jugée très-favorablement au point de vue économique. L'opération du colmatage nécessitant l'introduction dans la cuvette de l'étang d'une quantité considérable d'eaux étrangères, dont l'écoulement n'a jamais été rien moins qu'assuré, expose les propriétés riveraines à des chances beaucoup plus fréquentes de submersion, et a dû, dès le principe, donner lieu aux réclamations qui se sont reproduites depuis lors toutes les fois qu'il a été question de rétablir le canal d'atterrissement. C'est sans doute à ce motif qu'on doit attribuer la courte durée des services de ce canal, qui depuis 1787 n'a jamais fonctionné. En 1807, un ingénieur qui s'était fait à juste titre une grande réputation en fait de desséchements, Prony, tout en regrettant qu'on n'eût pas mis à sa disposition tous les éléments nécessaires pour arrêter un projet définitif, n'hésitait pas cependant à proposer de s'en tenir à l'emploi du colmatage essayé par les États de Languedoc. Son rapport contient à cet égard des indications précieuses et des recommandations pratiques, dont malheureusement ne paraissent pas toujours s'être suffisamment inspirés les ingénieurs qui après lui se sont occupés de la question.

Les projets se succédèrent sans interruption et sans aucune tentative d'exécution jusqu'en 1829. A cette époque, une loi spéciale prescrivit la vente de l'étang, qui faisait partie de la dotation de la Légion d'honneur, à charge par les acquéreurs d'en opérer le desséchement.

Diverses compagnies concessionnaires se succédèrent et encoururent la déchéance sans avoir rien entrepris de sérieux. La dernière adjudication eut lieu en 1851. La compagnie qui fut à cette époque chargée de l'étang s'est perpétuée jusqu'à ce jour, après une série de faillites et de licitations successives, qui n'ont pas eu de meilleurs résultats pour l'entreprise du desséchement que pour les affaires personnelles des sociétaires. Des dépenses assez considérables ont été faites il y a une douzaine d'années, mais sans qu'elles aient en rien amélioré la situation.

A plusieurs reprises, l'Administration aurait été en droit de prononcer la déchéance contre les concessionnaires. Elle a été vivement sollicitée à le faire, par les populations riveraines ; mais on conçoit qu'elle hésite à prendre une telle mesure de rigueur. A quoi servirait, en effet, d'évincer les occupants actuels, si l'on n'était certain d'en trouver de plus capables, si l'on ne pouvait au préalable leur imposer un programme nettement défini, dont le résultat pratique serait assuré ? L'Administration n'a jamais cru devoir entrer dans cette voie ; elle est toujours restée en dehors des conditions techniques de l'entreprise ; le cahier des charges a été rédigé par les agents du Ministère des finances. Les concessionnaires, livrés à peu près à eux-mêmes, agissant à leur guise, sous leur propre responsabilité, ont dévoré leurs ressources insuffisantes dans des essais infructueux, qui n'ont abouti qu'à discréditer de plus en plus l'entreprise. Elle offre des difficultés considérables, sans doute,

mais qui ne seraient peut-être pas insurmontables si l'on avait soin de s'en rendre bien compte à l'avance, ainsi que nous allons essayer de le faire avec quelques détails.

CXIV.

L'étang de Capestang occupe le fond d'un ancien golfe orienté du nord au sud, réceptacle obligé d'un bassin qui n'a pas moins de 20 000 hectares de superficie. Cette région présente un sol tourmenté, dans lequel se trouvent divers bas-fonds ou cuvettes sans issue naturelle, bien que leur plafond soit supérieur au niveau de la mer, qui constituaient autant de marais ou d'étangs isolés.

Les deux plus importants de ces étangs, celui de Tauch et celui de Montady, ont été desséchés, le premier au XIIe, le second au XIIIe siècle, au moyen d'excavations profondes et de souterrains, œuvres très-remarquables pour l'époque à laquelle elles ont été entreprises. Deux autres étangs de même nature, ceux d'Ouveilhan et de Quarante, existaient encore il y a peu de temps. Le dernier a été complètement desséché depuis deux ans par son propriétaire. Les travaux de dessèchement du premier, entrepris aux frais de l'État et de la Commune, après avoir été momentanément suspendus, viennent d'être repris et seront sans doute bientôt menés à bonne fin. Tous les émissaires de ces cuvettes partielles ont été ou seront dirigés dans les affluents naturels du grand étang de Capestang, dont la dépression principale était, ainsi que nous l'avons dit, en libre communication avec la mer, avant les atterrissements qui l'en séparent aujourd'hui.

La cuvette de cet étang touche au sud aux basses plaines de l'Aude, dont elle n'est séparée que par la digue artifi-

cielle de Londres. Elle reçoit à l'ouest plusieurs affluents, parmi lesquels il en est deux,—les rivières de la Quarante et de la Nazoure, la première surtout,—sujets à des crues limoneuses considérables qui ont formé des atterrissements importants, marchant de l'ouest à l'est, en même temps que les alluvions de l'Aude refoulaient la nappe d'eau de l'étang du sud au nord.

La rive septentrionale n'a d'autres affluents que les rigoles amenant les eaux claires de filtration ou de trop plein du canal du Midi.

Sur la rive orientale, enfin, on ne rencontre qu'un affluent, prolongement de la rigole de desséchement de l'étang de Montady, qui débouche dans un golfe secondaire de la cuvette principale connu sous le nom d'étang de Polhes.

L'étendue de l'étang de Capestang, quant à la surface réellement submergée ou impropre à la culture, paraît s'être notablement réduite depuis le règne de Henri IV, époque où pour la première fois on s'est occupé de son desséchement. Tandis que les anciens titres de concession lui accordaient 1 893 hectares, le cadastre ne lui en assigne pas plus de 1 000, et de 1 200 en y comprenant l'étang de Polhes, qui pour la majeure partie est en dehors de la concession et appartient à des propriétaires particuliers.

La différence entre ces chiffres résulte des atterrissements successifs qui se sont formés en près de trois siècles, et qui, avec plus ou moins de titres, ont été occupés ou usurpés par les propriétaires riverains, contre lesquels les concessionnaires actuels exercent aujourd'hui leur droit de revendication.

La plupart de ces terrains contestés étant encore submersibles ou imprégnés de sel qui les rend impropres à la culture, il nous paraît convenable de les comprendre, de

même que l'étang de Polhes, dans la superficie du sol à mettre en valeur, qui se trouverait ainsi portée à 2 000 hectares au moins en chiffre rond.

Les deux affluents de la rive occidentale ont, en même temps que l'Aude, contribué à produire les atterrissements qui ont réduit la surface de l'étang. La Quarante surtout, lors de ses grandes crues accidentelles, amène des quantités parfois considérables de limons. Le domaine de Saint-Nazaire, d'une grande valeur aujourd'hui, n'était, il y a moins de deux siècles, qu'un sol improductif qui a été peu à peu exhaussé par cette rivière au point d'être rendu cultivable. En avant des terres arables ainsi formées par la Quarante, il existe encore un pointement ou petit delta de 40 hect. environ, en saillie déjà très-marquée sur le littoral de l'étang, au-delà duquel il s'avance chaque jour de plus en plus. Par suite de la marche continue de ces atterrissements à partir de l'ouest, l'étang a conservé sa plus grande profondeur sur sa rive orientale. Les points les plus bas de cette cuvette sont à peu près au niveau de la mer moyenne. Ils constituent, sur une superficie de 200 hect. environ, *les clairs*, nappe d'eaux permanentes qui ne s'assèche jamais. Au point de vue de l'altitude générale, les terrains de l'étang se subdivisent à peu près comme suit :

Au-dessous de la cote 2m	250h
Entre les cotes 2 et 3m	1 100
— — 3 et 4m	400
Au-dessus de 4m.....................	250
Total.............	2000h

Le niveau habituel des eaux varie naturellement suivant les saisons et l'état d'entretien du canal d'évacuation. Ce

canal, débouchant dans l'Aude en face de la Vernède, est en assez mauvais état d'entretien et se trouve muni de deux paires de portes, l'une à l'embouchure, l'autre à la traversée de la route Impériale n° 9, qui continue la clôture de la digue de Londres. La fermeture de ces portes permet, en cas d'inondation, d'intercepter l'entrée des eaux de l'Aude dans l'étang, qui ne reçoit plus que ses affluents naturels. L'établissement de ces portes est récent ; mais par suite de leur mauvaise confection ou de la négligence des agents chargés de les manœuvrer, elles ont rarement servi à empêcher les grandes inondations de l'Aude de se niveler dans l'étang. La plus grande hauteur de ces inondations atteint la cote 4^m à $4^m,50$. En temps ordinaire, le niveau des eaux intérieures se maintient entre les cotes 2 et 3^m pendant six à huit mois, et descend rarement au-dessous de la cote $1^m,50$ en été. Les terres riveraines supérieures à la cote 4^m sont en culture, bien qu'elles soient parfois exposées à être submergées pendant quelques jours par les très-grandes inondations. Les terrains compris entre les cotes 3 et 4^m sont à sec pendant huit mois de l'année, mais n'en sont pas en général plus productifs, par suite des efflorescences salines qui les rendent impropres à toute végétation. La zone intermédiaire comprise entre les cotes 2 et 3^m, qui n'émerge qu'au printemps, se couvre d'une épaisse végétation de foins grossiers et d'herbes palustres de diverses espèces. La zone inférieure, enfin, celle des clairs, comprend des nappes d'eaux permanentes parsemées de véritables îles flottantes, connues sous le nom de *mattes*, qui sont formées d'un réseau de racines et de roseaux entrelacés, dont le niveau variable s'élève et s'abaisse avec celui des eaux.

CXV.

Le travail le plus sérieux qui ait été essayé en vue du desséchement de Capestang, à part les tentatives faites sous Henri IV, sur lesquelles nous n'avons aucune donnée positive, fut celui des États de Languedoc.

En même temps qu'on régularisait le canal de desséchement et qu'on améliorait la digue de Londres, on ouvrit le canal d'atterrissement du Gailhousty, qui, partant du barrage de Mussolens, pouvait amener dans la cuvette les eaux troubles de la rivière d'Aude en temps de crue.

Nous avons vu (CXIII) combien avaient été insignifiants, en fait, les résultats de ce canal, qui a fonctionné trois ans à peine, et depuis 1787 a été soigneusement barré à son origine. On ne saurait attribuer au principe même du colmatage la responsabilité d'un insuccès qui est dû surtout à la manière inintelligente avec laquelle l'opération a été conduite au début.

On était effectivement parti de cette base fausse qu'il fallait immédiatement porter les bénéfices du colmatage sur les parties les plus basses. Si l'opération avait été continuée dans ce sens, elle aurait eu pour résultat de prolonger vers la rive orientale de l'étang, au point où la cuvette est la plus profonde, le cône de déjection qui s'était formé au débouché du canal de Gailhousty. On n'aurait obtenu ainsi, au bout d'un temps assez long, qu'un vaste barrage en éventail, qui, sans être par lui-même propre à la culture, aurait coupé l'étang en deux, arrêté l'écoulement des eaux de la partie supérieure, et refoulé la submersion à un niveau de plus en plus élevé sur les terres cultivées de la lisière septentrionale. Dans le Mémoire que nous avons

rappelé, Prony a fait ressortir avec juste raison les défectuosités d'une telle méthode. Un canal de colmatage doit être considéré comme un engin pouvant donner annuellement une masse de remblais plus ou moins considérable, mais toujours limitée. On conçoit, dès-lors, qu'au lieu de l'éparpiller inutilement sur de vastes surfaces, et surtout de l'employer à combler des bas-fonds, il vaut mieux la réserver dans le principe à exhausser les parties les plus hautes, celles qui sont le plus rapprochées de l'état de culture, pour ne s'avancer vers les parties les plus basses que par zones concentriques et graduelles. En opérant de cette manière, le résultat final, au point de vue du comblement définitif, sera sans doute aussi long à obtenir; mais on réalisera une amélioration progressive dont les bénéfices immédiats pourront couvrir, et au-delà, les frais d'entretien et l'intérêt du capital de premier établissement.

On est d'ailleurs en général assez peu porté à se rendre compte de la durée réelle d'une telle entreprise. En déterminant l'altitude relative qu'il serait nécessaire de donner aux divers points de l'étang, non-seulement pour les faire émerger au-dessus du niveau des inondations habituelles, mais pour assurer aux eaux d'égouttage une pente suffisante vers le canal de fuite, nous avons trouvé que le cube de remblai à effectuer ne serait pas inférieur à 27 millions de mètres.

D'un autre côté, nous avons vu par le résultat des essais faits en 1783 que le canal de Gailhousty ne pouvait fournir annuellement plus de 120 000^{m} de troubles. Ajoutant 20 à 30 000^{m} pour l'apport de la Quarante et de la Nazoure, nous ne pourrons disposer annuellement que de 150 000^{m} de remblai au plus. A ce taux, l'opération exigerait près de deux siècles pour être menée à bonne fin.

La compagnie concessionnaire actuelle, à bout de ressources, ayant proposé de reprendre d'une manière rationnelle l'entreprise du desséchement par colmatage, l'annonce du résultat que nous venons d'énoncer a soulevé toutes les populations riveraines. La perspective de quelques avantages prochains pouvant résulter du resserrement graduel de la cuvette de l'étang, ne pouvait compenser, à leurs yeux, l'inconvénient immédiat et certain d'introduire dans cette cuvette une masse d'eaux considérable qui relèverait le niveau d'inondation en hiver, et retarderait encore l'écoulement, déjà si lent en été.

Les protestations à cet égard ont été trop unanimes pour qu'on puisse sérieusement songer aujourd'hui à proposer une combinaison qui ne reposerait que sur le colmatage.

Le desséchement par voie d'évacuation directe, par l'ouverture d'un émissaire spécial à la mer, est chose impossible en thèse absolue, puisqu'une partie notable de la cuvette se trouve au niveau des basses mers, et qu'il faudrait toujours, quoi qu'on fasse, compter sur une pente superficielle d'écoulement considérable pour un émissaire qui, à partir du centre des clairs jusqu'à l'embouchure de l'Aude, aurait une longueur de 25 kilomètres; qui, de plus, serait assujéti à écouler les eaux des plaines supérieures de Coursan et de Cuxac, et toutes celles des marais de Nissan et de Lespignan avant de recevoir celles de Capestang.

La transformation en polder desséché par machines présente également de grandes difficultés. Théoriquement, il paraîtrait sans doute possible d'isoler la cuvette par un canal de ceinture englobant au besoin des terres cultivées, établi à une hauteur telle que les eaux des affluents se trouvassent en charge sur les plus hautes inondations de l'Aude.

Mais, en fait, il faut tenir compte, non-seulement du débit considérable de ces affluents, qui peut parfois atteindre et dépasser 200^{m} par seconde, mais encore de la nature des eaux limoneuses de certains d'entre eux, qui déposeraient instantanément les troubles dont ils sont chargés, pour peu qu'on voulût les emprisonner dans un canal d'une trop faible pente. Pareil inconvénient s'est produit après les premiers travaux des concessionnaires actuels, qui avaient cru pouvoir dévier la rivière de la Quarante dans un canal, d'ailleurs insuffisant, contournant tout l'étang. Dès la première crue, cette rigole s'est comblée jusqu'au niveau des berges formées par le retroussement des déblais primitifs, et l'on est arrivé finalement à ce résultat inattendu, d'avoir produit une digue saillante là où on avait compté établir un canal de desséchement. La déviation des affluents dans un canal de ceinture, suivant la lisière du polder projeté, serait chose possible pour les affluents qui n'amènent dans l'étang que des eaux sensiblement claires ; mais l'opération serait impraticable pour la Nazoure et la Quarante, surtout pour celle-ci. Si l'on voulait absolument se débarrasser de ce dernier affluent, il faudrait lui ménager en ligne aussi droite que possible, dans la direction joignant son delta actuel à la tête du canal de desséchement, un large lit déterminé par deux digues élevées à une hauteur assez grande, non-seulement pour être insubmersible aux inondations actuelles, mais pour assurer la mise en charge nécessaire à l'écoulement des eaux de la rivière en tout temps. L'établissement de ces digues, qui ne pourraient être faites qu'avec des remblais d'emprunt apportés à grands frais, serait très-coûteux.

On peut donc, croyons-nous, conclure, en résumé, que le desséchement de l'étang de Capestang ne saurait être

obtenu économiquement par colmatage, écoulement direct ou épuisement artificiel par machine; mais il peut résulter de l'emploi combiné de ces trois procédés, et cela de bien des manières.

CXVI.

Sans avoir la prétention de donner la seule solution possible, nous croyons devoir, en terminant, esquisser sommairement le programme de celle qui nous paraîtrait la plus avantageuse.

En premier lieu, nous admettrons qu'on retirerait de l'écoulement direct tout ce qu'il peut donner en ouvrant le canal du Salut, qui, comme nous l'avons dit, servirait à la fois à l'assainissement de toutes les plaines basses de l'Aude, en même temps qu'à l'évacuation des eaux de la cuvette de Capestang.

Sans nous placer dans les conditions exceptionnelles des débordements de l'Aude, qui sont fort rares, et des grandes crues des affluents de l'étang, qui sont de peu de durée, le canal du Salut aurait à débiter les eaux d'un bassin de 20 000 hectares. La quantité d'eau pluviale tombée en un mois dépasse rarement $0^m,30$, dont moitié environ doit s'écouler par les émissaires, le reste étant absorbé par le sol ou enlevé par l'évaporation.

Le volume total à évacuer pendant une saison très-pluvieuse sera donc de 30 millions de mètres cubes d'eau par mois, représentant 11 600 litres par seconde.

Dans ces conditions, il nous paraîtrait suffisant de donner au canal du Salut une largeur de 30^m au plafond, avec une pente de fond de $0^m,06$ par kilomètre, commençant à la cote + 0,25 à la Vernède, finissant à la cote — 0,75 à la mer. L'évacuation d'un volume normal de 11 600 litres exigerait

une tranche d'eau de 1^m de hauteur, ce qui, en admettant une élévation de la mer de + 0,25 au-dessus du niveau moyen, rarement dépassé dans la saison pluvieuse, nous donnerait + 1^m,25 pour cote normale d'écoulement à la Vernède. La cote des eaux, au débouché du canal de fuite de l'étang, serait + 1,25. En comptant sur une pente égale pour ce canal de fuite, sur la longueur de 10 kilomètres existant entre l'origine du canal du Salut et le centre de la cuvette vis-à-vis l'étang de Polhes, la cote en ce dernier point, au lieu dit le Passot, serait de 1^m,85. Telle serait donc, après l'ouverture du canal du Salut, la hauteur moyenne à laquelle devraient être amenées les eaux qu'on voudrait évacuer, dans le cas d'un régime régulier, pour un débit normal de 12 mètres cubes à la seconde, correspondant à une saison très-pluvieuse, abstraction faite toutefois, nous l'avons dit, des grands débordements de l'Aude et de ceux de la Quarante, qui n'ont que peu de durée.

La hauteur d'évacuation ainsi limitée pour les cas les plus ordinaires, nous serions d'avis de diviser l'étang et les terrains adjacents en deux parties distinctes, qui seraient simultanément traitées, l'une par voie d'épuisement artificiel, l'autre par voie de colmatage.

La première méthode serait réservée de préférence à la région nord-ouest, qui ne reçoit que des eaux claires, dont la déviation dans un canal de ceinture est relativement facile, qui d'ailleurs est la plus rapprochée de Capestang, ce qui, au point de vue hygiénique, doit faire désirer sa mise en valeur immédiate.

La seconde région du sud-est, recevant déjà les eaux troubles de la Nazoure et de la Quarante, en même temps que celles que pourrait y amener le canal de Gailbousty, serait traitée provisoirement par colmatage.

La séparation des deux régions serait opérée par une digue insubmersible qui, partant du pont de la route départementale sur la Quarante, suivrait l'ancien lit de cette rivière, à la lisière de son delta, et traverserait ensuite l'étang en écharpe, pour venir se souder à la pointe du Passot, soit en amont, soit en aval du confluent de l'étang de Polhes, suivant qu'on voudrait rattacher cette cuvette secondaire à la région du nord ou à celle du sud.

La digue de séparation devrait être établie à une hauteur telle qu'en cas de concordance des plus grandes crues de l'Aude et des affluents de l'étang, les eaux de ces derniers, emmagasinées dans la région du sud, pussent se trouver en charge suffisante sur le champ d'inondation de l'Aude. Les plus hautes crues de cette rivière ne dépassent pas $4^m,50$ en face de la Vernède. La surcharge nécessaire pour assurer le débit d'un volume d'eau de 200^m par seconde, que peuvent donner les affluents réunis, serait assez difficile à déterminer exactement. En tenant compte de la distance, qui est de 5 kilomètres, de la grande largeur d'écoulement, mais aussi du rétrécissement occasionné par les ponts de la route et du chemin de fer, cette dénivellation ne paraîtrait pas devoir dépasser $0^m,50$. La plus grande cote d'inondation que les eaux pourraient atteindre dans la région submergée serait donc 5^m, et il paraîtrait dès-lors convenable d'établir la digue de séparation à $0^m,50$ au-dessus, soit à la cote + $5^m,50$.

La région supérieure, en état de polder, serait circonscrite : au sud-ouest par cette digue insubmersible, à l'ouest par la route de Narbonne,—le long de laquelle on aurait à ouvrir un canal de ceinture extérieur en communication avec la Quarante,—au nord par un canal de ceinture ouvert à fleur de sol dans les terres cultivées vers la cote 6^m, à l'est

enfin par un canal analogue venant rejoindre le canal de fuite de la zone submersible au Passot.

Le périmètre, ainsi limité [1], embrasserait une superficie de 600 hectares environ, dont 150 sont aujourd'hui en état de culture et le reste improductif. Ces derniers terrains seraient desséchés par machines, dessalés par drainage, dans des conditions analogues à celles que nous avons développées pour la Camargue et l'étang de Vendres. Les engins d'épuisement seraient installés près du Passot, où ils pourraient précisément utiliser une machine à vapeur de 30 chevaux, déjà établie par les concessionnaires, et qui jusqu'à ce jour est restée sans emploi. La quantité d'eau à élever par an, comptée sur une couche de $0^m,40$, serait de 2 millions et demi de mètres cubes. Le régime moyen d'élévation correspondrait à la différence entre la cote—0,75, prise à $0^m,75$ en contre-bas du point le plus profond de la cuvette, et le niveau normal d'évacuation des eaux d'hiver, que nous avons vu être à la cote + $1^m,85$. En exécution, il est bien entendu qu'on pourrait subdiviser la surface totale en plusieurs zones séparées par des canaux dans lesquels les eaux seraient progressivement élevées à des hauteurs différentes, ainsi que nous l'avons proposé pour l'étang de Vendres.

La mise en valeur de la région au nord de la digue divisoire deviendrait ainsi immédiate et définitive. A part l'amélioration résultant d'un assèchement et d'un dessalement par lessivage, on pourrait au besoin utiliser, pour l'arrosage en été, les eaux emmagasinées dans la région du sud et parfois celles qu'on dériverait de l'Aude par le Gail-

[1] Pour ne pas compliquer nos explications, nous laissons en dehors de notre projet les terres de l'étang de Polhes, et des annexes de l'étang de Capestang au-delà de la route de Narbonne qui pourraient être rattachées à la cuvette centrale.

housty. Ce canal serait en outre employé à exhausser et surtout à amender les bas-fonds les plus déprimés de la cuvette, dont le terrain, de nature tourbeuse ou sablonneuse, paraît être sur certains points de mauvaise qualité.

La transformation de la région du sud ne serait pas aussi complète que celle du polder; elle pourrait cependant résulter d'un exhaussement graduel et concentrique qui, partant de la lisière naturellement insubmersible, irait en resserrant de plus en plus la surface abandonnée aux eaux d'inondation. Les résultats seraient d'autant plus prompts que les terrains de cette région ont été relativement très-exhaussés par l'effet des atterrissements naturels. Ils se trouvent, pour la majeure partie, entre les cotes 2 et 3^{m}, à une hauteur déjà supérieure au niveau normal d'évacuation qui résulterait de l'ouverture du canal du Salut. Ils pourraient dès à présent, après drainage et lessivage préalables, être mis en culture, sans avoir à redouter des inondations plus longues et plus fréquentes que la majeure partie des terrains qui longent les rivières sujettes à des débordements accidentels.

Provisoirement, ce bassin inférieur emmagasinerait les eaux pendant la durée des grandes crues de l'Aude ; mais cette destination pourrait n'être que transitoire, en attendant que le travail de comblement fût assez avancé pour qu'on pût, à peu de frais, compléter l'endiguement de la Quarante et de la Nazoure. La berge gauche du lit normal de la Quarante serait naturellement la digue divisoire elle-même. Quant à la berge droite, elle se composerait d'une digue parallèle, qui pourrait s'exécuter progressivement et à peu de frais, à mesure que les dépôts du colmatage fourniraient les matériaux nécessaires. Finalement, dans un laps de temps qui ne dépasserait pas vingt-cinq années, les

deux rivières pourraient être définitivement endiguées dans un lit suffisamment large, protégé par des berges assez élevées pour que les eaux des plus grandes crues restassent toujours en charge sur les inondations de l'Aude Les terrains de la région méridionale seraient dès-lors traités comme ceux de la région septentrionale. A la rigueur même, il ne serait pas besoin de machines pour les tenir à sec dès qu'ils auraient été uniformément portés par le colmatage à la cote 2m,50. Ce résultat serait obtenu avec un remblai moyen de 1m sur 300 hectares, soit 3 millions de mètres cubes qui, par le fonctionnement réuni du Gailhousty et des affluents naturels, pourraient être amenés en vingt ou vingt-cinq ans.

En somme, par le système mixte que nous proposons, on pourrait : 1° assurer la mise en valeur définitive et immédiate, — dans la limite d'exécution des travaux de dessèchement et dessalement, — de la région du nord-est, comprenant une superficie de 600 hectares ; 2° déterminer l'amélioration graduelle et successive de la région sud-ouest dans un délai total qui ne dépasserait pas vingt-cinq ans.

L'opération ainsi entendue donnerait satisfaction immédiate aux intérêts de salubrité. Elle ferait disparaître en effet les régions les plus malsaines de l'étang, en asséchant définitivement les parties profondes et reportant en tout cas les eaux stagnantes à 6 kilomètres au moins des marais de Capestang. L'entreprise, bien que coûteuse, resterait cependant dans des conditions qui nous paraîtraient devoir donner des résultats rémunérateurs à ceux qui l'entreprendraient.

Autant qu'on peut se rendre un compte approximatif des dépenses d'un projet de cette nature, sans études de

détail, nous croyons qu'on pourrait les évaluer à peu près comme suit :

Construction de la digue divisoire du marais et déviation de la Quarante	200 000f
Ouverture du canal de ceinture sur la lisière nord-est.	50 000
Complément des machines du Passot	50 000
Élargissement et mise en état du canal de fuite	60 000
Part contributive dans l'ouverture du canal du Salut	100 000
Achat de terrains pour canaux, chemins de service, etc.	50 000
Canaux de desséchement intérieurs, nivellement du sol, etc., pour 1 000 hectares	200 000
Drainage — —	300 000
Dessalement et défrichement	200 000
Bâtiments d'exploitation	200 000
Outillage, cheptel	100 000
Dépenses diverses et imprévues, intérêts, fonds de roulement, etc	290 000
TOTAL	1 800 000f

A ce prix, sur l'étendue totale des terrains dépendant de la concession de desséchement, qui par suite des dernières restitutions ordonnées par les tribunaux peut être portée à 1 200 hectares, on obtiendrait comme résultat : dans la région nord, une première surface de 500 hectares, prête à être mise en état de culture ; dans la région sud, une surface de 700 hectares qui pourrait être cultivée immédiatement pour les deux tiers, et dans un délai de vingt à vingt-cinq ans au plus pour le reste.

A ces avantages principaux de l'opération devraient s'ajouter des plus-values plus ou moins immédiates dont auraient à profiter l'étang de Polhes et les terrains bas adjacents à l'étang de Capestang, pour une surface de 800 hectares environ.

CXVII.

En résumé général, par un emploi judicieux des méthodes que nous venons d'exposer avec des détails qui paraîtront bien incomplets, malgré leur longueur, les plaines marécageuses et les étangs qui s'étendent aujourd'hui sur la rive gauche de l'Aude pourraient se diviser à peu près comme suit, en deux groupes :

1° Terrains à peu près improductifs aujourd'hui, qui pourraient être promptement transformés et mis en valeur définitive, à l'état de bonnes terres arables, par voie d'épuisement artificiel.

Cuvette totale de l'étang de Vendres...............	1.700h	2.400h
Région du nord-est de l'étang de Capestang........	500	
Terrains adjacents..............................	200	

2° Terrains de diverse nature, en l'état actuel, qui, par l'application d'un système rationnel de colmatage, pourraient être amenés avec le temps dans un état satisfaisant de culture.

		Terrains en culture à améliorer.	Terrains incultes à mettre en valeur.	Surface totale.	
		h.	h.	h.	
Syndicat supér. à la Vernède.	Comm. de Coursan et de Cuxac (Aude).	1.710	1.000	2.710	4.523h
Syndicat en aval du canal de la Vernède.	Commun. de Fleury et Salles (Aude)... Comm. de Nissan et Lespignan (Hér.).	713	800	1.513	
Étang de Capestang, région du Sud...		»	700	700	
Terres adjacentes................		150	250	400	
Étang de Polhes............. ...		»	200	200	
TOTAL général pour les terres basses de la rive gauche.					6.923h

Des résultats analogues pourraient être obtenus avec une facilité tout au moins aussi grande pour les terrains de la rive droite du bras principal, se continuant sur les deux rives de la Roubine et se prolongeant dans les étangs de Bages et de Gruissan, qui, pour une très-grande partie probablement, pourraient être à leur tour livrés à la culture.

CHAPITRE V

ALLUVIONS ARTIFICIELLES. — FERTILISATION DES LANDES DE GASCOGNE.

CXVIII.

Les exemples pratiques qui précèdent, suffisent pour indiquer dans quelles limites et avec quelles chances de succès l'aménagement des alluvions naturelles peut contribuer à l'amélioration du sol végétal. Les résultats seront toujours restreints aux parties basses des vallées sur lesquelles les alluvions se répandent librement en temps de crue, ou peuvent être amenées sans trop de frais par des dérivations.

Les terrains à conquérir par cette voie à l'exploitation agricole ne comprendront dès-lors que d'étroits sillons le long des affluents, et parfois un élargissement brusque sur la masse principale du comblement, à l'embouchure dans les mers tranquilles; peu de chose, en somme, si on compare la surface gagnée à la surface totale du globe.

Tout autres seront les résultats des alluvions artificielles, au point de vue de la rapidité des dépôts comme à celui de leur généralisation.

Dans la première partie de cet ouvrage, nous avons exposé les principes de la méthode. Il est temps de sortir des généralités de la théorie et d'en étudier sur le terrain,

avec quelques détails, l'application à une région bien déterminée.

Entre toutes celles que nous aurions pu choisir, nous nous sommes arrêté aux Landes de Gascogne, vaste contrée à peu près stérile aujourd'hui, sur laquelle ont échoué tous les essais d'amélioration agricole tentés dans ces dernières années, et qui cependant, plus que toute autre, nous paraît appelée à un degré exceptionnel de fertilité.

Toute la région comprise au sud-ouest de la France, entre la Garonne, les Pyrénées et l'Océan, formant la Gascogne proprement dite, présente une grande uniformité de composition géologique. Sur le flanc des Pyrénées s'adosse une formation de mollasse tertiaire, à la surface de laquelle se sont épanchées de longues traînées de terrains de transport argilo-siliceux [1]. La masse totale s'infléchissant vers

[1] Dans notre première partie, nous conformant à la classification géologique généralement suivie, nous avons décrit cet épanchement (L) comme devant être rapporté aux terrains diluviens. L'apparence et la continuité des blocs épars à la surface, au contact des Pyrénées ; la diminution graduelle du volume de ces blocs à mesure qu'on s'éloigne du point de départ, paraissaient justifier cette origine.

Une tournée récente faite pendant l'impression de cet ouvrage vient d'ébranler notre conviction à cet égard. La construction du chemin de fer de Toulouse à Bayonne a mis au jour, dans ses nombreuses tranchées, une coupe géologique de ces terrains qui concorde peu avec l'idée qu'on doit se faire d'un épanchement diluvien.

Les galets, les cailloux siliceux ne sont pas distribués en bandes régulières, imbriquées les uns sous les autres, comme le comporterait la résistance à l'action d'un courant liquide ; ils sont répandus confusément dans la masse, semés comme au hasard dans une vase molle. Plusieurs de ces fragments, d'ailleurs, n'ont aucun caractère de pierres roulées et ont conservé des faces de cassure planes.

Ce genre de formation paraîtrait bien plutôt convenir à une action glaciaire (LXVIII) qu'à une action diluvienne. L'existence d'anciens glaciers ayant été bien constatée dans les hautes vallées des Pyrénées, on

le fleuve d'un côté, vers la mer de l'autre, est découpée sur toute son étendue par un grand nombre de cours d'eau qui divaguent dans tous les sens, après avoir affecté des directions sensiblement parallèles à l'origine.

Au centre de cette formation principale, touchant à la mer, s'étend la région des Landes, immense plateau constituant comme un golfe sablonneux enclavé dans les argiles, qui se prolonge sans interruption de Mont-de-Marsan à Lesparre dans sa plus grande longueur, de l'Océan à Nérac dans sa largeur.

Une ligne de faite régulière, séparant les affluents de la Garonne des affluents directs de l'Océan, rattache aux massifs tertiaires étagés aux pieds des Pyrénées le sommet de ce plateau, qui se trouve près Gabarrets à la cote 160. Tronçon parfaitement intact, sur toute sa longueur, d'un

pourrait admettre que leurs derniers épanchements se sont épanouis sur toutes les croupes des terrains tertiaires adossés aux flancs de la montagne, et, par leur retrait graduel, ont laissé déposer la formation argileuse de Lannemezan à l'état de boue glaciaire. Il resterait cependant, dans cette hypothèse, à expliquer l'absence complète de chaux dans ce terrain. Les calcaires sont très-abondants dans toutes les vallées sur les parois desquelles les glaciers ont dû opérer leurs érosions; on ne voit pas dès-lors pourquoi les débris de leur désagrégation ne se retrouvent pas dans le dépôt final.

Cette question d'origine serait fort ardue à résoudre; mais nous n'avons fort heureusement pas besoin de nous prononcer sur les hypothèses auxquelles elle peut donner lieu. Notre projet ne repose que sur un fait: l'existence de la formation argileuse, s'abaissant par un plan incliné uniforme et continu jusqu'à la rencontre du plateau des Landes, qui en prolonge la pente régulière jusqu'à la mer. Peu nous importent les causes qui ont déterminé la production de cet épanchement: qu'il soit d'origine glaciaire ou diluvienne, l'essentiel est pour nous que le chemin qu'il a dû suivre soit resté intact; et l'observation directe prouve que ce chemin se continue sans aucune interruption, en suivant la ligne de faîte du plateau, de Lannemezan à la pointe de Grave.

épanchement primitif dont il suffirait de rétablir le cours, cette ligne présente une voie toute naturelle pour apporter les sédiments minéraux empruntés aux Pyrénées sur toute la région des Landes. A partir de son point culminant, en effet, le faîte du plateau se bifurque en deux branches principales, dont l'une se continue jusqu'à la pointe de Grave, à l'embouchure de la Gironde; dont l'autre, traversant la formation des Landes dans sa plus grande largeur, sépare ses deux plus grands bassins, celui de la Leyre au nord, celui de la Midouze au sud.

De toutes parts, à partir de ces croupes culminantes, le sol s'incline en faîtes secondaires par des pentes continues, sans qu'aucune dépression, aucun soulèvement, viennent interrompre la continuité des lignes de pente qu'on peut partout tracer à fleur de sol entre le pied des Pyrénées et un point quelconque des Landes.

Tels sont les caractères saillants, ressortant nettement aux yeux, à l'examen d'une carte géologique et topographique, qui seuls avaient déterminé notre choix. Il n'en fallait pas davantage pour nous faire reconnaître que la région des Landes, par l'immensité des résultats à obtenir, l'excessive facilité des moyens, était plus que toute autre contrée merveilleusement disposée pour servir de champ à une première application de nos procédés pratiques. Aussi n'avons-nous pas hésité, après une étude sommaire, à appeler la publicité sur les bases de notre projet. Nous ne pensions pas qu'il dût éveiller autre chose qu'une sympathie générale. Nous étions loin de nous douter qu'il pût froisser des intérêts privés, soulever des questions personnelles, nous exposer enfin à des objections sur des questions de détail que nous avions dû forcément négliger dans une première exploration.

Il en a été tout autrement. Nos idées, nous devons le constater à regret, paraissent jusqu'ici s'être peu popularisées dans les contrées qui doivent plus particulièrement profiter de leur réalisation dans un avenir prochain. En revanche, nous avons encouru le reproche d'avoir fait un trop sombre tableau de l'état actuel du pays, d'avoir méconnu les résultats déjà obtenus et les travaux exécutés ; d'avoir passé sous silence les projets qui, de près ou de loin, pouvaient être considérés comme les devanciers du nôtre.

Il eût été plus simple et plus juste de nous accuser d'ignorance sur les faits dont nous avions omis de parler, et les rapprochements d'idées que nous n'avions pas signalés. Nous savions trop bien que le principal obstacle à l'exécution de notre projet devrait venir pendant longtemps de sa nouveauté même. Loin de chercher à nous isoler dans une œuvre toute personnelle, nous aurions été trop heureux de pouvoir rattacher ce que nous proposions à ce que d'autres avaient essayé ou proposé avant nous ; de présenter enfin notre projet, non comme une conception tout individuelle, mais comme le complément naturel des projets de nos prédécesseurs, si un lien entre eux nous était apparu.

CXIX.

Saisissant une occasion nouvelle de développer notre pensée, aujourd'hui qu'une étude plus approfondie des localités, une discussion qu'il n'a pas tenu à nous de rendre plus complète, nous ont éclairé sur bien des points qui pouvaient paraître obscurs au début, nous tenons à rendre avant tout justice à qui de droit. Nous méfiant de nous-même dans nos appréciations, nous emprunterons surtout

nos développements au remarquable Mémoire que M. l'ingénieur en chef des mines Manès a bien voulu consacrer à l'examen de notre premier travail. Si nous ne pouvions trouver un juge plus bienveillant pour nous, nous savons aussi que nous ne pourrions nous adresser à un critique plus impartial, à un guide plus compétent et plus éclairé.

La région des Landes se divise en deux parties distinctes : les landes de l'intérieur et celles du littoral.

Le vaste plateau que nous avons vu s'infléchir à partir du point culminant de Gabarrets, ne prolonge pas tous ses versants jusqu'à la mer. Au voisinage du littoral, les sables marins, soulevés en dunes puissantes par les vents du large, ont envahi le sol des Landes et refoulé au-devant d'elles les eaux pluviales. Concentrées dans une série d'étangs qui s'étendent en chapelet parallèlement à la côte, ces eaux forment une nappe continue qui, de l'étang d'Arcachon à l'Adour, sépare les deux régions que nous venons de distinguer.

« Dans les landes de l'intérieur, dit M. Manès, où les eaux pluviales ne trouvent presque aucun écoulement, le sol de sable pur et peu profond étant inondé par les pluies de l'hiver et brûlé par les chaleurs de l'été, ne donne lieu qu'à une végétation très-pauvre, et ne produit de bonnes récoltes qu'à force d'engrais et de travaux. Les habitations y sont rares et chétives ; les cultures se bornent à quelques bouquets de pins et à quelques taillis de chênes rabougris.

» Dans les landes du littoral, au contraire, où sur plusieurs points règne vers l'Océan une pente plus prononcée qui les assèche en partie ; où le terrain est formé d'un sable plus ferme, plus profond et plus argileux, enrichi aux dépens des landes supérieures ; où enfin le voisinage

des étangs et de l'Océan rend l'atmosphère plus humide, on trouve des localités largement boisées, des parties bien cultivées et des villages populeux.

» De tout temps on a été frappé des caractères marqués qui différencient ces deux sortes de landes. Les écrits des temps anciens prouvent en effet que les terres qui environnent le bassin d'Arcachon et celles du littoral de l'Océan, entre Arcachon et Bayonne, étaient fertiles, riches et populeuses, pendant que les landes intérieures étaient presque entièrement désertes. Ce sont aussi les landes du littoral qui ont, de 1759 à 1837, donné lieu à beaucoup de tentatives ayant pour but d'y établir des cultures variées suffisamment productives; mais toutes ont échoué parce qu'on négligeait de mettre préalablement ces terrains en état normal de culture, et parce qu'on dépensait beaucoup pour leur demander des produits incompatibles avec leur nature. »

Bien que nos alluvions artificielles doivent sur certains points atteindre la région des dunes, et atterrir sans doute une grande partie des étangs, c'est surtout à l'est de cette nappe d'eaux, dans la région des landes centrales, la plus stérile, la plus misérable, que notre système est appelé à produire ses meilleurs effets. Nous ne saurions cependant, en laissant de côté les landes littorales, oublier de rappeler en tête des hommes dont le nom vivra à jamais dans les Landes, celui de l'ingénieur Brémontier, qui, le premier, donnant un corps à de vagues pratiques locales sur l'ensemencement des sables et la fixation des dunes, parvint à les arrêter dans leur marche dévorante, en indiquant les procédés positifs auxquels nous devons la création des belles forêts de pins qui couvrent aujourd'hui cette zone littorale.

Mais les landes de l'intérieur étaient restées étrangères aux bienfaits de Brémontier. Sur cette aride région, « où

toute circulation était interdite l'hiver par le manque de voies de communication, et où tout progrès agricole trouvait un grand obstacle dans la vaste étendue de landes communales que l'on s'obstinait à abandonner au paccage de rares et chétifs troupeaux », il n'avait été fait encore que des essais incomplets et restreints d'amélioration agricole, « lorsque vers 1849, M. Chambrelent se mit à rechercher quelles pouvaient être, dans la composition ordinaire du sol des Landes, les causes qui les rendaient improductives, et quels étaient les moyens à employer pour faire cesser ces causes.

» L'étude complète que cet ingénieur fit alors du sol de ces contrées, l'amena bientôt à découvrir les rapports jusque-là cachés des phénomènes de végétation observés, et lui permit d'établir les liens demeurés inaperçus des effets avec les causes.

» Il ne tarda pas à reconnaître que si les landes étaient restées en grande partie improductives, et si les semis de chênes et de pins qu'on y faisait, ou manquaient totalement, ou ne donnaient que des arbres rabougris et lents à croître, cela tenait, non point à ce que le sol manquait de profondeur, mais bien à ce que ce sol, plat et imperméable, passait continuellement de l'inondation permanente de l'hiver et du printemps à la sécheresse absolue de six mois qui lui succédait; qu'en effet, c'était seulement dans le mois de juin, dans le court passage de l'inondation à la sécheresse, que la végétation pouvait recevoir un commencement de vie, et que, peu après, le soleil de juillet brûlait la plante à peine naissante sur un sol desséché, trop faible par suite pour lui résister; que celle-ci mourait donc en juillet, pour n'avoir pas pu naître en avril. Il conclut tout aussitôt de là qu'on ne pourrait réussir à mettre les landes

en valeur que par un assainissement préalable destiné à donner au pays la végétation du printemps, qui n'y existait pas, et sans laquelle aucun succès agricole n'était possible. Il constata d'ailleurs que, par suite d'une disposition particulière du plateau des Landes, qui règne sur toute son étendue et qui semble providentielle pour ce malheureux pays, cet assainissement peut être obtenu facilement par des travaux très-simples et très-peu coûteux, d'un drainage à ciel ouvert, consistant en petits fossés de 1m,20 de largeur en gueule, et de 0m,40 à 0m,50 au plus de profondeur, dont la dépense n'excède pas 30f par hectare. Enfin, il observa qu'à la suite de cet assainissement et sans rien changer à l'épaisseur du sol arable, il se développait dans ces terrains, jusqu'alors stériles, une grande force de végétation, grâce aux admirables conditions climatériques de chaleur et d'humidité dans lesquelles ils se trouvent du mois de mars au mois de mai, c'est-à-dire pendant le moment de la germination naturelle.

« M. Chambrelent admit que, de toutes les cultures compatibles avec la nature de la lande ainsi assainie, les deux plus rationnelles étaient celle forestière et celle fourragère. Il ne pensa pas d'ailleurs que cette dernière pût réussir autre part que là où on pourrait se procurer à peu de frais des engrais. Il regarda dès-lors, comme la seule convenable à employer en grand, la culture forestière, qui y réussit très-bien d'elle-même, sans soins et sans efforts. Ce fut donc celle qu'il mit en pratique, et qu'il proposa d'étendre à toute cette vaste étendue de landes intérieures.

» Les deux principales essences dont cet ingénieur recommande avec raison la culture, sont le pin maritime et le chêne rouvre. En effet, le sable des landes n'est pas seulement propre au pin maritime, qui y est aborigène; il

convient encore très-bien au chêne rouvre qui, plus délicat que le pin, exige, il est vrai, pendant qu'il est jeune, d'être arrosé en été avec l'eau jaunâtre et albumineuse prise dans quelques petits puits percés à peu de profondeur sous la couche d'*alios*, mais qui s'y développe alors quatre ou cinq fois plus vite que dans un bon terrain, et donne un bois d'une excellente qualité. Les semis de chêne rapportent beaucoup plus que ceux de pins; par leur alternance avec ceux-ci, ils embellissent le paysage par le gazon vert qui croît sous leur couvert, ils offrent un obstacle à la transmission des incendies, si fréquents dans les bois de pins.

» La première application de ce système fut faite par son auteur, en 1850, dans son domaine de Saint-Alban, et les semis de chênes et de pins qu'il y fit exécuter en mars de cette année, par longues bandes équidistantes, tracées dans la direction des vents les plus fréquents, se développèrent avec une vigueur si remarquable, et présentèrent, lors de l'Exposition de 1855, des sujets d'une si belle venue, que le jury crut devoir lui accorder sa plus haute récompense.

» Depuis lors, le pays ayant été sillonné de chemins de fer et de routes agricoles, l'assainissement et la mise en valeur des landes de Gascogne s'exécutent partout avec la plus grande activité, non-seulement dans les landes particulières, mais encore dans les anciennes landes communales, dont la vente par parcelles a lieu au grand avantage des communes, et partout les résultats sont aussi favorables qu'ils pouvaient l'être. Si donc on continue sans interruption, on verra bientôt cette contrée, autrefois aride et insalubre, se couvrir de 500 000 hectares de nouvelles forêts de pins et de chênes, à qui les débouchés ne manqueront pas, et qui feront la fortune du pays. »

Tel est l'exposé du système suivi dans ces derniers temps. Les Landes, dans l'état où la nature les a livrées, n'en comportent pas de plus logique; mais il s'en faut que nous partagions la confiance de M. Manès dans ses résultats d'avenir.

L'Autorité supérieure, non sans quelque hésitation, a admis ce programme tendant à couvrir toute la surface des landes d'une immense forêt de pins. Des mesures législatives spéciales ont été prises pour hâter cette solution. Les communes ont été contraintes à suivre le mouvement, ou à se dessaisir des terrains qu'elles ne pouvaient assainir et ensemencer par elles-mêmes.

Une circonstance particulière est d'ailleurs venue stimuler encore l'engouement général. La guerre d'Amérique, en arrêtant les expéditions de résine que faisaient les États du Sud, a produit une hausse excessive de cette denrée. Du jour au lendemain, le prix en a été décuplé, et les propriétaires des Landes, éblouis, se sont empressés de multiplier les semis.

Mais cette prospérité éphémère n'a eu qu'un temps. Depuis deux ans déjà, les résines sont revenues au prix qu'elles avaient avant la guerre, et l'on doit à bon droit s'effrayer de ce qu'il adviendra de la valeur d'une marchandise dont la consommation est forcément très-limitée, du jour où toutes les plantations nouvelles seront en état de produire. Les craintes à cet égard sont d'autant plus fondées qu'un semis qui ne doit arriver en état de production qu'à vingt ans, en état de maturité qu'à quarante, n'est pas une de ces cultures accidentelles auxquelles on puisse aisément renoncer. Dans un de nos derniers voyages dans les Landes, nous avons eu occasion de voir nombre de propriétaires qui en étaient déjà à regretter une transforma-

tion agricole dont le premier résultat avait été la suppression complète des troupeaux de moutons, qui vivaient maigrement sans doute dans le désert des Landes, mais qui n'en donnaient pas moins un revenu certain, à l'abri de l'avilissement du prix qui atteindra tôt ou tard la production des résines.

L'exploitation agricole des Landes est donc à la veille de traverser une crise dont quelques années de prospérité passée ne pourront compenser les funestes résultats.

CXX.

En signalant l'état du pays, tel que nous l'avions vu, tel qu'il doit apparaître à tous ceux qui, traversant en chemin de fer ces solitudes, voient poindre à perte de vue, dans l'immensité des bruyères, les pousses nouvelles des jeunes pins, nous étions loin d'avoir cédé à un parti pris de dénigrement qui n'a jamais été dans notre esprit. Nous avions émis une opinon populaire en France, et dont les faits ne tarderont pas, nous le craignons, à vérifier la justesse. D'autres avant nous s'étaient refusés à voir une solution satisfaisante dans la généralisation des semis. Telle fut notamment l'opinion de M. l'ingénieur de Bellegarde, qui dès 1854 proposa, comme nous, d'emprunter à la région des Pyrénées les éléments nécessaires à la fécondation du sol des Landes. Nous ignorions complètement l'existence du projet de M. de Bellegarde, lorsque nous avons commencé nos études. Plus tard, lorsque parut notre brochure, nous n'en avions entendu parler que comme d'un projet d'irrigation. Sur ce point, nous avions été mal renseigné ; comme nous, notre devancier avait compris l'utilité des sédiments minéraux du colmatage. En même temps qu'il proposait de dériver les

eaux des affluents principaux des Pyrénées, de l'Adour, de l'Arros aussi bien que de la Neste, et de les emmagasiner dans d'immenses réservoirs établis sur les hautes vallées du plateau, il faisait entrer en ligne de compte les alluvions qui devaient résulter de l'érosion naturelle des terrains traversés par les dérivations. Pour préciser la pensée de M. de Bellegarde à cet égard, nous ne pouvons mieux faire que de reproduire deux citations de son mémoire empruntées à celui de M. Manès.

«Toutes ces eaux», dit M. Bellegarde, «suivant les fortes »pentes des versants de la chaine de partage, produiront des »érosions sur les terrains qu'elles traverseront, et seront »toujours troubles et limoneuses. Si l'on considère leur vi-»tesse dans les dérivations artificielles, elles pourront donc »arriver chargées de limon dans les bassins immenses à »créer sur les plateaux des Landes. Là, ces eaux stationne-»ront et colmateront le fond des bassins en se dépouillant de »la plus grande partie des matières en suspension, mais »retenant cependant en dissolution les sels de potasse et de »chaux qu'elles auront absorbés en route, au contact de »terrains granitiques, schisteux et calcaires. Les eaux des »bassins, répandues en irrigations superficielles sur les ver-»sants, laisseront la dernière partie de limon, la plus fine, »encore en suspension; puis, s'infiltrant dans les sables, se »mélangeront aux eaux locales, dont elles modifieront le »caractère nuisible par les combinaisons chimiques qui ne »peuvent manquer d'avoir lieu entre des eaux alcalines et »des eaux acides, et ces nouvelles eaux apporteront plus bas »des moyens d'irrigation et d'engrais.»

»En résumé, dépôt de limons sur les plateaux, dépôt des sels de potasse et de chaux sur les versants des Landes, tels seront les effets résultant des eaux dérivées de la

Neste et des vallées supérieures de la chaîne, de Lannemezan à Gabarrets.

» M. de Bellegarde admettait que les eaux de la Neste disponibles en 1854, et celle des sources supérieures de la chaîne de partage, donneraient 32m,36 par seconde, soit un milliard de mètres cubes par an, et il calculait ainsi les effets qui devaient résulter du stationnement et de l'épanchement de cette masse d'eau sur les Landes.

» Ces eaux étant supposées contenir un cinquième de mètre cube de limon par 1 000 mètres cubes, comme celles de la Garonne à Marmande, le milliard de mètres cubes donnera par an 200 000 mètres cubes de limons. Supposant d'ailleurs une hauteur de colmatage de 0m,10, bien suffisante pour fertiliser le sol, cette quantité de limon permettra de colmater 200 hectares par an.

» Le milliard de mètres cubes pourra aussi arroser, à » raison d'un mètre cube par mètre carré, une superficie de » 100 000 hectares ou 62 lieues carrées. Avec le remploi » possible des eaux à plusieurs fois, depuis le sommet des » versants jusqu'aux thalwegs, la superficie irrigable pourra » être doublée ou même triplée. D'ailleurs, l'engrais donné » par l'élevage des bestiaux permettra aussi de mettre en » culture une grande étendue de terrains actuellement incul- » tes. On peut, en somme, porter au tiers de la superficie » totale des Landes, soit à 400 000 hectares, les améliorations » résultant de cette grande œuvre ; il resterait encore une » assez grande superficie à semer en bois de pins ou à » convertir en rizières, avec les colatures provenant des irri- » gations. »

» M. de Bellegarde, prenant pour comparaison les évaluations présentées par M. Montet, dans son projet de distribution des eaux de la Neste, chercha à évaluer approxi-

mativement la dépense à faire, dans son système, pour l'établissement des travaux nécessaires à la mise en valeur de 250 lieues carrées de landes, et il arriva au chiffre de 50 millions, en y comprenant une somme de 8 millions, destinée à l'acquisition de 200 000 hectares de superficie irrigable avec remploi d'eaux, à raison de 40ᶠ, valeur la plus forte d'alors. Il porta ensuite à 300 000ᶠ les dépenses annuelles de l'entretien des voies et du service du jeu des eaux; puis, s'appuyant sur les résultats obtenus par les travaux d'irrigation effectués dans la campine belge, qui présente une analogie des plus frappantes avec les landes de Gascogne, il calcula que les 200 000 hectares irrigables acquerraient, par l'établissement des artères principales de distribution, la valeur minima de 250ᶠ l'hectare, et pourraient se vendre 50 millions, c'est-à-dire rembourser la dépense totale du premier établissement; que le colmatage annuel de 200 hectares, devant acquérir une valeur de 1 500ᶠ par hectare, produirait par an un revenu de 300 000ᶠ, suffisant pour payer les frais d'entretien; qu'enfin on aurait pour bénéfice net la redevance à recevoir des usagers irrigateurs, ne fût-ce que pour l'ordre et la police du jeu des eaux, laquelle, comptée seulement à 10ᶠ par hectare irrigué, donnerait un bénéfice annuel s'élevant à 2 millions.»

Nous n'avons pas à discuter les résultats de l'opération au point de vue des arrosages; nous n'insisterons que sur la question de colmatage, qui, même dans les étroites limites où la renferme l'auteur du projet, n'aurait pas été réalisable. On ne saurait livrer à elles-mêmes les dérivations suivant l'étroit plateau de la ligne de faîte, sans s'exposer à les voir s'ouvrir, de droite ou de gauche, une issue dans les vallées qui longent ce faîte. Loin de faciliter les érosions latérales, il aurait fallu les arrêter, ce qui n'aurait pu se faire

qu'en muraillant le lit du canal d'arrosage sur toute son étendue. Ce muraillement n'eût-il pas été indispensable, qu'il se fût produit de lui-même, en peu de temps, par analogie avec ce qui se passe dans les torrents naturels dont le lit s'asseoit sur un dépôt de roches et de cailloux imbriqués dans le sens de la plus grande résistance au courant. Rien ne serait, en effet, plus erroné que l'opinion vulgaire qui prétendrait qu'un cours d'eau est d'autant plus chargé de limon qu'il est lui-même plus torrentiel. Toutes les fois que les conditions de régime d'une contrée montagneuse sont fixées depuis longtemps, qu'aucune cause accidentelle, un défrichement ou un déboisement, par exemple, n'est intervenue récemment, les eaux des torrents coulent limpides le plus souvent, à peine louches pendant les crues, sur la couche inaffouillable dont elles ont peu à peu pavé leur lit. Il n'est pas de haute vallée qui, précisément dans la région des Pyrénées dont nous nous occupons, ne nous fournît un exemple concluant à l'appui d'une opinion qu'on voudrait vainement trouver praradoxale.

Les canaux projetés par M. de Bellegarde seraient donc bien loin de fournir la quantité déjà si minime de 200 000^{m} de limon, à laquelle il a évalué leur produit. Les masses énormes d'eau qu'ils conduiraient arriveraient pures et limpides sur le plateau des Landes, sans autres principes fertilisants que les sels qu'elles pourraient tenir en dissolution.

On nous pardonnera cette digression. Elle a moins pour but de répudier toute filiation entre notre projet et celui de M. de Bellegarde, que d'établir plus nettement que nous ne l'avons fait jusqu'ici un des caractères essentiels du système des alluvions artificielles. Un canal servant au transport des limons ne saurait à la fois servir à l'érosion. Il est néces-

saire que les deux opérations soient distinctes, se fassent par deux séries d'ouvrages différents.

CXXI.

Ces explications préalables une fois données, nous pouvons aborder l'étude détaillée de notre projet, et voir en premier lieu ce que réclame le terrain des Landes, à l'amélioration desquelles il doit s'appliquer. En dehors des limites du plateau où les formations sablonneuses et argileuses se confondent parfois, le sol de cette vaste région présente une désespérante uniformité. Il est uniquement composé, sur une profondeur indéfinie, de sable quartzeux dans lequel on retrouve à une profondeur variant de $0^m,50$ à $0^m,60$, au-dessous de la surface, une couche imperméable à peu près régulière d'*alios*, qui n'est autre chose que le sable superficiel agglutiné par un ciment végétal.

Quoique l'opinion ne soit pas unanime à cet égard, nous ne saurions, quant à nous, conserver de doutes sur cette identité d'origine de l'alios et du sable des Landes. On ne pourrait en effet considérer cette formation comme un dépôt superficiel d'origine diluvienne ou analogue, qui se serait épanché en une seule fois à la surface du sol, et qui aurait été plus tard recouvert par les sables.

Un dépôt diluvien ne se serait pas produit avec l'uniformité qui caractérise l'alios. Nivelant les aspérités du sol primitif, il aurait des épaisseurs considérables dans les bas-fonds, manquerait sur les points hauts, et présenterait en outre l'aspect d'une couche géologique nettement tranchée. Loin de là, l'alios se confond par nuances insensibles avec le sable du sous-sol, comme avec celui de la surface. Il se retrouve d'ailleurs sur tous les points en couches minces,

dans les vallées d'érosion toutes récentes comme sur les plateaux, en rapport avec le relief actuel et non avec le relief ancien.

On ne pourrait rapporter l'alios à une concrétion sous-marine qui se serait formée dans une période géologique antérieure à la nôtre, à une époque où le plateau des Landes aurait été recouvert par la mer ; car dans ce cas, en même temps qu'il ne se retrouverait pas dans les érosions récentes, il devrait former plusieurs couches au lieu d'une seule, contenir des fossiles qu'on n'y trouve pas. On ne peut évidemment attribuer à cette étrange formation qu'une origine toute moderne, due à la lente sécrétion des matières organiques provenant de la décomposition des bruyères dissoutes par l'eau pluviale. Nous avons été naturellement amené à nous demander si la production de l'alios n'était pas liée à un phénomène d'évaporation analogue à celui qui occasionne les concrétions salines à la surface et plus encore dans le sous-sol de nos terrains salés du littoral de la Méditerranée.

A mesure qu'une dissolution de principes végétaux est concentrée par l'évaporation, on conçoit qu'elle arrive à un état de saturation tel, qu'elle puisse laisser déposer une concrétion devenue insoluble.

Si cette explication était vraie, la formation de l'alios devrait en chaque point se trouver en relation avec les effets de l'évaporation annuelle qui, concentrant les principes organiques tenus en dissolution, doit en amener le dépôt dans une couche d'autant plus basse, d'autant plus épaisse, que cette évaporation a été plus active et plus prolongée.

Ces prévisions théoriques ont été pleinement confirmées par les renseignements que nous ont donnés les divers agents

du domaine Impérial de Solférino que nous avons consultés. On a remarqué en effet que la couche de l'alios n'est pas partout uniforme ; elle est d'autant plus épaisse que l'alios se trouve plus profondément enfoncé au-dessous de la surface ; cette profondeur est d'autant plus grande que le sol est lui-même plus élevé, plus sec, sujet à une plus grande évaporation ; l'alios manquant complétement dans les points bas, habituellement humides, où la concentration des sucs ne peut se produire.

Il serait difficile de trouver une concordance plus grande entre les faits et la théorie. La seule objection en apparence sérieuse qui ait été faite à cette dernière, est la spécialisation de l'alios au sol des Landes. Si sa formation était due à une cause aussi générale que peut l'être l'évaporation, il devrait, nous a-t-on dit, se retrouver dans toutes les couches analogues par la nature du sol et celle des productions spontanées, tandis qu'il paraît être inconnu partout ailleurs. On ne le signale en effet, ni dans les landes de la Sologne, ni dans celles de la Westphalie. Outre que nous ignorons si l'absence de l'alios est réellement générale, cette anomalie apparente nous paraîtrait pouvoir s'expliquer par le seul fait des différences de climat, qui non-seulement peuvent avoir de l'influence sur l'intensité de l'évaporation, mais qui en ont une plus grande encore sur la nature des sucs végétaux qui peuvent être dissous par les eaux pluviales. De même que les pins des Landes produisent des quantités de résine incomparablement supérieures à celles qu'on trouve dans les pins de la Sologne, on peut comprendre que les bruyères, les fougères et autres produits spontanés du sol y soient plus riches en principes solubles, résineux ou autres, susceptibles de donner naissance aux concrétions de l'alios.

Quoi qu'il en soit, cette formation constituant un sous-sol imperméable est un obstacle qui, à défaut d'autres, dans l'etat actuel rendrait très-difficile la culture des Landes. L'infertilité de la couche supérieure résulte tout autant de sa constitution physique que de son défaut de variété minérale. Une des propriétés du sable est en effet de manquer d'hygroscopicité, d'être complètement imperméable à l'eau, de ne pouvoir la retenir dans cet état de combinaison physique, d'hydratation intra-moléculaire que nous avons vu être nécessaire au développement d'une végétation régulière.

L'eau pluviale filtrant à travers le sable supérieur des Landes, pénètre librement jusqu'à l'alios. Suivant qu'elle est plus ou moins abondante, elle divise le sol en deux couches plus ou moins épaisses, dont l'une restant noyée ne peut faire naître les germes végétaux, dont l'autre trop promptement desséchée ne peut les nourrir.

CXXII.

Les travaux d'assainissement recommandés par M. Chambrelent, l'ouverture des rigoles destinées à faciliter l'assèchement du sol, remédient en partie au premier inconvénient, mais non au second. Il ne suffit pas pour une culture normale que le sol soit suffisamment desséché sur une profondeur convenable; il faut encore (v) qu'il puisse retenir, emmagasiner pendant un temps assez long pour permettre le développement de la récolte, l'eau qui lui est nécessaire. D'où, pour première condition d'aménagement du sol des Landes, l'obligation de lui fournir un lien minéral, un ciment qui lui donne la consistance physique, lui fasse acquérir la propriété qu'ont les argiles et les

limons d'absorber une grande quantité d'eaux pluviales, de la conserver longtemps à l'état hygroscopique sans en être noyés. Ce résultat acquis, il restera encore à incorporer dans le sol une proportion convenable des éléments minéraux indispensables au développement des végétaux herbacés, dans la catégorie desquels nous avons vu que se trouvaient comprises toutes les plantes alimentaires.

En dehors de cette classe de végétaux éminemment utiles qui exigent des terres végétales de bonne qualité (1), la nature a créé des espèces qui, sans avoir la même importance au point de vue des besoins de l'homme, sont appropriées aux sols les plus ingrats. Ce sont les végétaux ligneux, qui, — ne contenant qu'une très-faible quantité d'éléments minéraux dont la proportion n'a elle-même rien de bien déterminé, vivant surtout de l'atmosphère, — n'ont d'autre rôle que de fixer le carbone, de l'isoler en grandes masses, soit dans l'humus du sol, soit dans les troncs et les branches des espèces forestières. Le sol des Landes est particulièrement propre à cette végétation sauvage. Les bruyères et les fougères y croissent partout spontanément, et nous savons qu'avec quelques travaux peu coûteux d'assainissement on peut leur substituer les essences forestières, le pin maritime, le chêne, etc.

Les débris de ces végétations naturelles, qui depuis des siècles se succèdent à la surface du sol, ont produit une quantité considérable d'humus, formant par son mélange avec le sable une couche plus ou moins épaisse de terre de bruyère. Nous avons vu, dans la première partie de cet ouvrage (VII), quel paraissait être le rôle de l'humus dans la végétation. Il ne prend pas directement part à son développement ; mais il contribue, par sa lente combustion au contact de l'oxygène, à donner un dégagement continu

de chaleur, de force vive, qui doit faciliter les réactions nécessaires à l'isolement des éléments minéraux engagés dans des combinaisons chimiques. A ce point de vue, sans être indispensable par lui-même, l'humus est un stimulant qui peut avoir une grande influence sur le développement végétal dans les bonnes terres, qui reste sans effet sur les mauvaises. Nulle part nous ne pourrions en trouver un meilleur exemple que dans les Landes.

Récemment défriché, le sol présente l'aspect d'un terreau d'un noir foncé, contenant une forte proportion de matière organique qui lui donne une certaine consistance apparente. Mais au contact de l'air, après quelques labours, la couleur s'efface, l'humus disparaît, et il ne reste plus qu'un sable pur, mobile, d'une blancheur éclatante. Ce résultat est plus marqué encore sur les terrains qu'on a récemment conquis sur les étangs et les marais desséchés. La matière organique, en plus grande abondance, donne au sol qui vient d'être émergé l'aspect d'une terre forte, relativement compacte, à laquelle on est, à première vue, porté à attribuer un caractère de fertilité qui n'a rien de réel.

Manquant des bases essentielles de toute végétation, ces amas réputés inépuisables de matières organiques, rapidement consumés, brûlés par l'action du soleil, restituent à l'atmosphère tout ce qu'ils en avaient reçu, non-seulement en carbone mais en azote. Au lieu des terres fertiles qu'on avait espérées, on n'a fait qu'ajouter, en fin de compte, quelques hectares de sables stériles de plus au désert des landes.

Ce n'est donc pas aux engrais organiques, pas même aux amendements minéraux employés en trop faible quantité, qui ne modifieraient pas la constitution physique du sol, qu'on devra la mise en culture des Landes. Cette grande

transformation agricole ne pourra se réaliser qu'à la condition de donner au sol la consistance limoneuse en même temps que la variété des éléments minéraux; et ce résultat, les alluvions artificielles seules peuvent le produire.

CXXIII.

La ligne de faite qui doit amener ces alluvions sur les Landes se rattache par son extrémité supérieure au plateau de Lannemezan, centre de la vaste formation argileuse dont le plan incliné s'étend des Pyrénées à la Garonne.

Resserré entre les deux rivières de l'Arros et de la Neste, qui par leurs hautes vallées se ramifient, — la première surtout, — dans les parties les plus élevées des Pyrénées, ce plateau donne lui-même naissance à d'innombrables affluents qui, rayonnant autour de ce centre commun, s'infléchissent dans toutes les directions, pour aller porter leurs eaux, les uns dans l'Adour, les autres dans la Garonne.

Ces derniers affluents sont à sec pendant tout l'été. Pour obvier à cette pénurie, dont souffrent plus ou moins toutes les vallées de l'ancien Armagnac, on a songé à répartir entre elles une partie des eaux des deux rivières supérieures, dont le débit est largement entretenu en toute saison par la fonte de glaciers permanents.

Une dérivation de la Neste aboutit, depuis quelques années déjà, sur le plateau de Lannemezan au-dessus de la cote 600. Mais, dans l'état, par suite de la nature d'une partie des terrains traversés, ce canal a éprouvé une série d'avaries successives qui ont considérablement restreint les services qu'il était appelé à rendre. On ne tardera sans doute pas à surmonter ces difficultés de construction, et

nous pouvons considérer la dérivation de la Neste comme devant, dans un avenir prochain, porter sur le plateau de Lannemezan un volume d'eau considérable, auquel nous avons naturellement compté emprunter la force motrice qui nous est nécessaire pour préparer nos alluvions et les transporter sur la région des Landes. Nous verrons tout à l'heure quel parti nous pourrons tirer à cet égard du canal de Lannemezan, comment ce nouveau service pourra se concilier avec celui en vue duquel il a été construit. Avant d'aborder cette question, nous croyons nécessaire d'étudier avec quelques détails les ressources minéralogiques que nous offrent les flancs du plateau.

La formation argilo-siliceuse qui s'étend au pied des Pyrénées (quelle qu'en soit l'origine, diluvienne ou glaciaire) parait provenir de la désagrégation des masses granitiques, dont on retrouve en tous points les éléments constituants. Au contact des montagnes, les blocs de granits et de micaschistes sont encore intacts, enchâssés dans une faible proportion d'argiles et de sables quartzeux. Mais ces blocs diminuent rapidement de masse et de volume à mesure qu'on s'éloigne du point de départ de l'épanchement. Vers l'extrémité nord du plateau, à la hauteur du Capvern et de Lannemezan, la masse du sol est formée d'argiles provenant de la désagrégation des feldspaths, dans lesquelles sont incorporés une proportion constamment décroissante de sables siliceux et de rognons plus ou moins gros de silice pure. Ces rognons eux-mêmes ne tardent pas à disparaitre dans les ramifications qui se prolongent suivant les lignes de faite. Sur la direction du faite principal on ne trouve plus de traces de cailloux à partir de Villemblits. Un caractère essentiel de cette formation argileuse est l'absence à peu près complète du calcaire, à l'état de carbonate du

moins. Les argiles ne font aucune effervescence avec l'acide carbonique. Dans quelques échantillons qu'il a bien voulu analyser, M. l'ingénieur en chef des mines Rivot a toutefois constaté une proportion de 1 à 2 millièmes de calcaire, à l'état de silicate probablement. A part les difficultés d'assimilation qui peuvent résulter de cet état particulier, cette proportion de calcaire est beaucoup trop faible pour constituer une terre végétale passable. C'est à cette cause surtout qu'on doit attribuer le défaut complet de fertilité du plateau de Lannemezan, désert d'une autre nature, mais tout aussi stérile que celui des Landes.

Nous étant proposé, dès le début, d'emprunter à cette formation la masse principale du compost qui doit former notre terre végétale artificielle, nous avions dû nous préoccuper de cette insuffisance de l'élément calcaire.

Manquant de cartes géologiques exactes, lorsque nous avons pour la première fois exploré le plateau de Lannemezan et les coteaux qui s'en détachent ; jugeant d'après l'aspect apparent des lieux, nous avions supposé que cette immense formation argileuse que nous voyions s'étendre à perte de vue autour de nous dans les thalwegs des vallées, aussi bien que sur les faites, avait une profondeur indéfinie. Des renseignements erronés nous avaient confirmé dans cette erreur. Personne n'avait pu nous indiquer l'existence d'un gite de marne calcaire pouvant facilement se rattacher, par une pente naturelle, au torrent artificiel que nous comptions diriger sur les Landes.

C'est alors que, comme pis aller, en attendant que de nouvelles études nous permissent de trouver une solution plus satisfaisante, nous proposâmes de tirer l'élément calcaire des marbres des Pyrénées, dont les débris, extraits à la mine, auraient été lancés à toute vitesse dans un canal

spécial qui leur aurait fait franchir avec une grande pente toute la traversée du plateau de Lannemezan. Cette partie de notre premier travail est celle qui nous a valu les plus vives critiques. A l'appui de notre opinion sur la possibilité de broyer en peu de temps des masses calcaires par leur entraînement dans un coursier pavé en silex, nous pourrions invoquer de nombreux arguments et une série de faits dont quelques-uns ont déjà trouvé place dans notre première partie[1]; nous croyons toutefois inutile d'insister sur ce côté théorique de la question.

Nous étions heureusement dans l'erreur sur l'épaisseur supposée de la formation argileuse. Loin d'être indéfinie en profondeur, elle n'est que superficielle, répandue comme un manteau sur une formation tertiaire marneuse qui existe en tous lieux, à une profondeur plus ou moins grande qui, sur un grand nombre de points, a déjà été mise à découvert et exploitée pour l'amélioration de la surface.

Nous devons à M. Jacquot, ingénieur en chef des mines, qui s'est occupé activement de la carte géologique du Gers, d'avoir été détrompé sur ce point; et, d'après ses indications, nous avons fait une nouvelle exploration des lieux, qui nous a donné les résultats les plus satisfaisants.

[1] Un fait d'expérience est venu récemment confirmer, au-delà de toutes nos prévisions, l'opinion théorique que nous avions émise sur la possibilité d'opérer l'entraînement des matières pierreuses par un courant régulier d'une assez faible puissance.

Nous verrons plus loin (CXXXIV) comment, au nettoyage du bassin de Ponserot, sur le canal de Marseille, un courant coulant à plein bord —dans un petit canal en bois, de 0m,60 de large sur 0m,30 de profondeur et 0m,05 de pente par mètre, avec un débit de 400 litres au plus et une vitesse de 2m par seconde, — a suffi pour entraîner, sans qu'il se soit jamais produit d'obstruction, non-seulement des vases et de menus graviers, mais un cube considérable de grosses pierres de toute forme, dont plusieurs avaient 0m,20 à 0m,30 de côté.

Descendant des faites, sur lesquels nous nous étions tenu dans le principe, nous avons rencontré sur les flancs des hautes vallées de la Bayse, du Lizon, du Boués, un grand nombre de gisements de marnes en pleine exploitation, qui ne laissent aucun doute sur la continuité de la formation, dont le niveau paraît même devoir s'élever beaucoup plus haut que nous n'aurions osé l'espérer, et se continue très-probablement sous le massif du plateau de Lannemezan.

Les nombreuses vallées qui rayonnent à partir de ce centre commun dans tout l'Armagnac, présentent des caractères généraux parfaitement tranchés (*Pl.* II, *fig.* 2), quant à la disposition relative des deux terrains géologiques. Le courant accidentel qui a donné naissance à ces vallées paraît s'être comporté à l'origine comme s'il avait été doué de propriétés corrosives et dissolvantes à l'égard du calcaire. Il a creusé dans la masse tertiaire de profonds sillons à parois verticales, parfois même en surplomb, qui ont été partiellement comblées après coup par les dépôts d'argiles mélangées de sables siliceux. C'est sur cette formation que s'est continuée l'action lente et prolongée des courants d'eau actuels, qui, obéissant à une loi générale, se sont rejetés vers l'est. De là, deux aspects différents que présentent d'une manière uniforme les versants des coteaux : un talus abrupte ou à pentes raides, inculte ou boisé, sur la droite; un plan très-faiblement incliné, couvert de cultures, sur la gauche. La nature géologique du terrain paraît toujours la même, par suite de l'éboulement des argiles supérieures qui ont recouvert les deux talus. Il existe cependant une différence essentielle entre eux. Tandis que la marne qui forme le sous-sol de la vallée et des coteaux est profondément enfouie sous les terres de la rive gauche, elle n'est en général recou- que d'une faible épaisseur d'argiles éboulées sur '

Digitized by Google

pements de la rive droite. Ceux-ci sont d'ailleurs défendus à leur pied par une sorte d'enrochement naturel, formé par les cailloux siliceux restés sur place après le lavage des éboulements. C'est donc ordinairement à mi-hauteur des talus que la marne est la plus voisine du sol, et qu'elle est habituellement exploitée, chaque village ayant au plus près la marnière nécessaire à l'amendement de son territoire.

Cette disposition générale, indiquée sur le profil-type (*Pl.* II, *fig.* 2), souffre cependant quelques exceptions. Elle se reproduit sur le cours du Boués et du Lizon, et sur celui de la Bayse en aval de Castelbajac; mais elle est moins bien caractérisée dans la haute vallée de ce dernier cours d'eau, sur laquelle ont porté nos premières explorations. La différence entre l'inclinaison des deux talus n'est plus aussi tranchée; ils sont également abruptes, et les exploitations de marnes se rencontrent indifféremment sur les deux rives. La nature de ces marnes n'est pas partout identique: celles de la rive droite de la Bayse, près Lagrange et Castelbajac, sont surtout les plus estimées; plus riches en calcaires [1], elles ont une dureté plus grande que celles de Burg, de Bugard ou de Serres, et seraient par contre plus difficiles à désagréger par l'action directe de jets d'eau.

Quoi qu'il en soit, l'existence des marnes tertiaires sous le terrain argileux, à un niveau bien supérieur à celui des vallées, qui nous avait été signalée par M. Jacquot comme très-probable, est un fait aujourd'hui bien avéré. Nous n'avons pas besoin d'insister sur les avantages de cette heureuse disposition, qui nous permet de trouver à la fois au

[1] L'analyse d'un certain nombre d'échantillons de ces marnes nous a donné une moyenne de 29 p. % de carbonate de chaux avec des traces abondantes de phosphates et de potasse.

même point d'attaque tous les éléments constitutifs d'une excellente terre végétale. Les feldspaths décomposés du terrain supérieur nous donneront, en même temps que l'argile, les silicates alcalins. La marne, avec le calcaire, nous fournira les phosphates et une autre variété d'argiles qui a sur la première l'avantage de ne contenir ni grains ni rognons de silex.

Il suffira donc de pousser l'attaque un peu plus haut ou un peu plus bas, pour obtenir à volonté une terre végétale, plus chargée de silicates dans le premier cas, de chaux et de phosphates dans le second, suivant qu'on voudra approprier le nouveau sol à la culture fourragère ou à celle des céréales.

On ne saurait d'ailleurs s'inquiéter de la plus grande résistance à l'affouillement que certaines marnes paraîtront devoir offrir. Toutes celles que nous avons reconnues sur la rive gauche de la Bayse, qui seront précisément celles qu'on devra attaquer de préférence, n'ont pas une consistance beaucoup plus grande que celle des argiles diluviennes. Quant à celles de la rive droite, si l'on reconnaissait jamais utile de les exploiter, l'action des jets d'eau nous donnerait en premier lieu le moyen de les isoler, en les dégageant des argiles sous lesquelles elles sont enfouies aujourd'hui. Ainsi mise à jour, la masse calcaire pourrait être attaquée à sa base au moyen de galeries séparées par d'étroits piliers que le choc des jets d'eau détruirait aisément. Il suffirait ensuite d'arroser à la lance les débris ainsi disloqués, pour amener une prompte désagrégation de la masse totale, qui, par une seconde opération, au bout de quelques heures ou de quelques jours au plus, pourrait être reprise et entraînée par le courant du canal broyeur à l'état de boue impalpable. Les marnes les plus dures dont nous ayons rapporté des échantillons, celles de Castelbajac, ne résistent pas à l'action com-

binée de l'eau et de l'air. Il suffit d'une aspersion ou d'une immersion complète pour les ramollir ou les faire fuser comme de la chaux vive.

CXXIV.

Nous trouverons donc, en un point quelconque des coteaux qui se détachent du plateau de Lannemezan, tous les éléments minéraux propres à la fabrication d'une terre végétale de qualité supérieure. Avant de faire connaître les motifs qui ont déterminé notre choix, nous croyons utile de revenir, avec quelques détails, sur la question de la force motrice dont nous aurons à nous servir. A cet égard encore, nous n'avions en quelque sorte que l'embarras du choix. Ce qui caractérise en effet notre méthode, c'est qu'elle peut s'appliquer en tout temps, d'une manière intermittente, sans exiger, comme les irrigations, un débit déterminé à une époque de l'année plutôt qu'à toute autre. Dans ces conditions, il était évident que nous devions trouver toutes les ressources nécessaires dans les nombreuses rivières torrentielles qui, descendant des Pyrénées, roulent pendant six à huit mois de l'année de grands volumes d'eau. Nous pouvions opter entre la Neste et l'Adour, qui circonscrivent la grande formation à laquelle appartient le plateau de Lannemezan, et l'Arros, qui la coupe par le milieu. Sachant que le canal déjà dérivé de la première de ces trois rivières était resté à peu près sans emploi jusqu'à ce jour, nous avions naturellement songé à l'utiliser comme pouvant nous donner gratuitement une force permanente. bien que cette permanence, nous le répétons, ne soit nullement une condition essentielle de nos procédés.

Empressons-nous de le reconnaître, nous avions fait sur

ce point trop bon marché des intérêts auxquels avait été primitivement destinée la dérivation de la Neste. Grâce aux chemins de fer, qui ont relégué partout au second rang les voies navigables, il ne saurait plus être question sans doute de revenir de longtemps au projet de canalisation des vallées du Gers, que l'on avait eu en vue dès le principe. L'expérience a d'ailleurs prononcé sur ce qu'on doit attendre de la pratique des irrigations sur le sol argileux de l'Armagnac. La faible quantité d'eau qui coule dans ses rivières est loin d'être utilisée pour cet objet, et, leur assurerait-on tout le débit de la Garonne à l'étiage, que de bien longtemps il n'en serait employé qu'une très-minime partie pour l'arrosage. Mais en dehors des deux questions principales de la navigation et de l'arrosage, nous n'avons nulle intention de contester que, dans l'intérêt de la salubrité du pays, pour la satisfaction des besoins domestiques des populations traversées, pour la mise en jeu des petites usines qui se trouvent sur leur parcours, il puisse être à désirer que le débit d'étiage des rivières du Gers, aujourd'hui à peu près nul, soit amélioré en été, sans jamais descendre au-dessous d'un certain minimum. Si le volume d'eau amené par le canal de Lannemezan devait rester ce qu'il a été jusqu'à ce jour, inférieur à 3m par seconde, il y aurait sans doute imprudence de notre part à vouloir entrer en lutte avec des droits acquis, et leur disputer tout ou partie de ce minime approvisionnement. Nous avons donc dû reprendre avec plus de détails, sur les lieux, la question essentielle de notre dérivation alimentaire, et ce n'est qu'après une nouvelle et consciencieuse exploration que nous persistons à croire que c'est toujours à la Neste que l'on devra s'adresser.

On nous objecte, il est vrai, que cette rivière a un débit

Digitized by Google

très-variable, qui descend parfois à 5 mètres cubes au plus bas étiage, et se maintient en certaines années, pendant sept à huit mois, à un chiffre très-faible. Dans notre projet, ce n'est plus une question de minimum, mais une question de moyenne que nous avons à considérer. Il nous importe peu d'être exposé à des chômages accidentels qui, une fois par hasard, pourraient réduire la durée du travail de notre canal à quatre ou cinq mois par an, si en moyenne il peut fonctionner pendant sept ou huit. A cet égard, la Neste nous offre toutes les ressources désirables, et des documents officiels peuvent nous en convaincre.

Le débit de cette rivière alimentée par des glaciers, complétement différente en cela de la plupart de nos autres cours d'eau, a son minimum en hiver de décembre à février, et atteint au contraire son maximum pendant les mois de juin et juillet.

Des observations régulières, remontant à 1855, ont permis de déterminer jour par jour le produit de ce cours d'eau, et le tableau ci-après fait voir comment, après cette période de neuf années complètes, s'est réparti le débit moyen par seconde entre les divers mois.

ANNÉES.	DÉBIT MOYEN DE LA NESTE PAR MOIS.												DÉBIT moyen par année.
	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.	Octobre.	Novemb.	Décemb.	
1855	m 10.62	m 35.84	m 38.70	m 57.16	m 63.43	m 157.77	m 128.20	m 67.01	m 53.09	m 83.83	m 30.39	m 15.70	m 60.15
1856	23.41	21.12	22.90	41.54	101.12	128.46	69.70	28.66	21.30	23.02	14.65	18.52	42.85
1857	18.78	16.58	31.23	41.54	69.84	80.38	55.08	37.91	28.89	48.23	30.25	12.60	39.11
1858	13.87	15.17	17.03	51.36	33.54	35.70	19.09	17.15	20.75	21.52	21.21	25.95	22.69
1859	19.21	19.92	24.71	47.89	45.48	75.04	52.70	26.93	18.80	22.43	19.61	14.25	32.25
1860	19.00	16.36	24.65	34.98	84.44	92.45	43.62	25.23	41.00	18.60	15.71	22.05	36.31
1861	20.37	16.39	19.28	33.47	48.63	67.19	34.63	17.06	11.58	13.14	12.76	7.91	25.20
1862	6.11	9.44	13.78	27.81	53.49	51.20	23.06	11.43	57.26	20.78	14.05	20.07	24.03
1863	16.50	10.58	20.56	48.09	74.53	90.06	43.23	30.18	29.52	42.03	20.55	15.37	36.77
Moyenn. p. 9 ann.	16.45	17.93	25.65	40.45	63.83	84.24	51.92	29.06	29.15	32.60	19.92	16.91	35.31

Si maintenant nous groupons les débits journaliers à un autre point de vue, nous obtenons les résultats suivants :

NOMBRE DE JOURS pendant lesquels le débit :	ANNÉES.									Moyennes.
	1855	1856	1857	1858	1859	1860	1861	1862	1863	
Est resté au-dessous de 8 mèt..	»	»	»	»	»	»	23	27	»	5.56
A varié de 8 à 13 mètres......	38	14	24	37	13	15	80	91	47	38.78
A varié de 13 à 18 mètres.....	39	85	55	135	100	103	85	64	67	81.44
S'est maintenu au-dessus de 18 mèt.	298	267	286	193	252	248	177	183	251	239.44
TOTAUX...	365	366	365	365	365	366	365	365	365	365.22

Les premiers intérêts à desservir doivent être sans doute ceux des localités où coulent naturellement les eaux de la Neste. Par ce que nous connaissons des irrigations qui ont lieu sur ses rives et du peu d'importance des usines desservies, nous pensons qu'on ne nuira en rien aux besoins de ses divers usagers, si l'on a soin de leur réserver en tout temps un minimum de 3 ou 4 mètres cubes, qui représente à peu près le produit du plus extrême étiage d'hiver. On ne saurait d'ailleurs nous objecter les besoins des riverains de la Garonne en aval du confluent. Sans compter les affluents venant de l'Ariége, la rivière principale, en tout temps, a tout au moins deux fois plus d'importance que la Neste. Son étiage correspond également aux mois froids, pendant lesquels les eaux ne sont susceptibles d'aucun emploi agricole. Elles sont donc et seront toujours plus que suffisantes pour faire face à tous les emplois industriels présents et à venir, quelque extension que puissent prendre les irrigations, qui jusqu'à ce jour ont été

peu prisées par les riverains. Nous n'en voulons pour preuve que le délaissement complet dans lequel sont restées les eaux d'arrosage que peut déjà distribuer le canal latéral, et les difficultés d'organisation que rencontre le projet de canal de Saint-Martory, malgré tous les sacrifices que l'État paraît disposé à faire pour en assurer l'exécution.

Nous n'ignorons pas que le Conseil-général de la Haute-Garonne a protesté en principe contre toute dérivation de la Neste; mais l'Administration sait parfaitement à quoi s'en tenir sur la valeur de ces réclamations locales, que rien ne justifie. Qu'elle se préoccupe avant tout de desservir les intérêts existants, rien de mieux; mais son respect pour les droits acquis ne saurait aller jusqu'à lui faire consacrer à tout jamais l'état actuel, dans lequel les neuf dixièmes des eaux se perdent sans profit pour personne.

On peut donc, sans crainte de nuire à aucun besoin réel, réduire à un minimum de 4^{m} le débit de la Neste. Quant au surplus des eaux disponibles, elles devraient en premier lieu desservir les vallées du Gers, qui ont des titres de priorité que nous considérons comme établis; mais si l'on tient compte des seuls intérêts sérieux, on arrivera, croyons-nous, à trouver qu'ils seront très-largement satisfaits en assurant un débit de 1^{m} par seconde à chacune des trois vallées principales, la Save, le Gers et la Bayse. Ajoutons 1^{m} pour le Bouès, qui, par l'importance de sa vallée et son manque d'eau absolu en été, ne mérite pas moins une égale faveur; nous aurons un nouveau minimum de 4^{m} à réserver. Ce ne serait donc que lorsque le débit de la Neste dépasserait 8^{m} que l'on pourrait songer à dériver l'excédant pour le colmatage des Landes; et le tableau qui précède fait voir que ce résultat se produit en moyenne pendant 360 jours par an.

Il est vrai que lorsque le débit dépassera peu ce minimum, restera au-dessous de 13^{m} par exemple, il n'y aurait probablement pas avantage à se servir de l'excédant des eaux pour la fabrication des alluvions artificielles, bien qu'on pût les utiliser avantageusement à des emplois accessoires que nous ferons connaître tout à l'heure.

Le travail réel du canal de colmatage serait donc réduit en moyenne à 320 jours par an, dont 239 à pleine charge et 81 jours avec un débit réduit, en le supposant établi pour un volume normal de 10^{m} à la seconde, qui correspondrait à 18^{m} pour la Neste tout entière, à la prise d'eau.

Rapporté à l'année totale, ce débit du canal représente un volume de 243 millions de mètres cubes, soit un débit moyen permanent de 7 800 litres par seconde, supérieur dès-lors au débit de 6 000 litres, sur lequel nous avions compté dans notre première brochure.

CXXV.

Nous avons raisonné dans l'hypothèse qu'on pourrait dériver toutes les fois que le débit de la Neste le permettrait, un volume de 14 mètres cubes par seconde, dont 4^{m} seraient réservés avant tout aux vallées sèches de l'Armagnac, et le reste, soit 10^{m}, serait consacré au canal de colmatage des Landes. Il nous reste à voir si la rigole actuelle pourra, par une transformation convenable, suffire à cette dérivation. S'il en était autrement, on pourrait au pis aller construire un autre canal ; mais nous ne pensons pas qu'il soit jamais nécessaire d'en venir à cette extrémité.

Il est vrai que l'on a depuis longtemps renoncé aux débits de 12 à 15^{m}, auxquels on avait songé dans le principe, et que, tout en se restreignant à un volume normal

de 7m, on est toujours jusqu'ici resté bien au-dessous. Le débit du canal n'a jamais atteint 5m ; et depuis trois ans c'est à grand'peine que l'on a pu amener un filet d'eau qui a rarement dépassé 1m pendant la durée des manœuvres du camp de cavalerie qui s'installe ordinairement à Lannemezan pendant l'été.

On ne saurait toutefois s'inquiéter de ce résultat. Des mécomptes regrettables ont, sans doute, jusqu'ici à peu près annihilé le canal de Lannemezan; nous espérons cependant faire comprendre qu'il n'y a rien, dans les accidents qui se sont produits, qui puisse inspirer d'inquiétudes sérieuses sur les résultats de l'avenir; et, d'accord en cela avec les ingénieurs de la localité, nous pensons, non-seulement qu'il sera facile, sans très-grandes dépenses, de restaurer le canal de Lannemezan, mais encore de le mettre en état de suffire au débit deux fois plus élevé dont nous avons besoin. Ce ne peut être là qu'une question d'argent.

Le canal de Lannemezan commence à Sarrancolin. Sa longueur totale actuelle est de 28 400m jusqu'à son débouché dans le Gers et la Bayse. Il se divise, au point de vue géologique des terrains traversés, en deux sections essentiellement distinctes : l'une de 8 kilomètres entre Sarrancolin et Hèches, tracée à flanc de coteau dans des terrains alternativement schisteux et calcaires, appartenant aux Pyrénées proprement dites ; l'autre de 20 kilomètres, ouverte dans le terrain argilo-siliceux du plateau de Lannemezan, dont 12 kilomètres à flanc de coteau entre Hèches et la Save, et 8 kilomètres sur le plateau même entre la Save et le Gers. Il s'est produit, sur la première section seulement, divers accidents dont les réparations successives ont été la cause des interruptions ou réductions de service qu'a subies le canal. Ces accidents sont dus unique-

ment à la nature des terrains calcaires traversés, remplis de cavités à demi-masquées par un terrain léger, à travers lesquelles les eaux s'engouffrent brusquement, pour aller, par des conduits souterrains, ressortir dans le lit de la rivière. Pareilles difficultés se rencontrent dans tous les terrains analogues ; elles se sont produites notamment, croyons-nous, au canal de la Marne au Rhin, où l'on en a fort heureusement triomphé.

Nul doute qu'on n'en vienne à bout sur le canal de Lannemezan, surtout si l'on considère que la partie soumise à de tels accidents n'a pas plus de 8 kilomètres de longueur. Sur toute la section au-delà ouverte dans les argiles, non-seulement il ne s'est produit d'accident d'aucune sorte, mais il suffit de parcourir le canal, — et pour notre compte nous l'avons suivi deux fois à pied dans toute sa longueur, — pour rester persuadé qu'on peut sans aucune crainte, en relevant les banquettes, porter de $1^m,50$ à 2^m son tirant d'eau, ce qui, avec la pente et le profil adoptés, serait largement suffisant pour un débit de 14^m. Semblable résultat sera certainement obtenu sur la première section, du jour probablement prochain où, par la construction d'un radier général ou tout autre moyen, on sera parvenu à asseoir le canal sur une base solide et imperméable. Ce but sera d'autant plus facile à atteindre sur cette section, que la pente longitudinale y est beaucoup plus grande, et que la largeur en gueule est telle qu'il suffira de porter de $0^m,90$ à $1^m,50$ le tirant d'eau pour élever le débit de 7 à 14^m.

En résumé sur cette question, il serait toujours facile d'emprunter aux rivières torrentielles venant des Pyrénées, qui découpent ou circonscrivent le plateau de Lannemezan, un volume d'eau suffisant pour la mise en jeu du canal

des Landes. On peut, sans le moindre inconvénient, donner la préférence à cet effet au canal dérivé de la Neste, dont la section peut être, sans trop de frais, remaniée de manière à pouvoir fournir un débit régulier de 14^m à la seconde, dont 4^m seraient réservés avant tout aux rivières de l'Armagnac, y compris le Boués, dont le reste, soit 10^m à la seconde, disponible pendant une moyenne de 280 jours par an, serait affecté au nouvel emploi que nous proposons de lui donner.

CXXVI.

Le canal de Lannemezan s'arrête pour le moment sur le plateau, à la rencontre de la Bayse, à la cote 610 (*Pl.* V). Il doit être prochainement prolongé suivant la ligne de faîte qui borde sur la gauche le bassin du Boués, qu'il doit également alimenter. Sauf une plus grande section à donner à cette dernière rigole, notre projet ne fera dès-lors qu'utiliser des travaux déjà faits ou sur le point de l'être.

La ligne du faîte principal que doit suivre le canal de transport conduisant sur les Landes les alluvions artificielles, présente une dépression au col de Villemblits à la cote 345^m. A la condition de ramener en ce point le canal de transport, on reconnaît, — à la vue d'une carte détaillée, que nous regrettons de ne pouvoir joindre à cet ouvrage, — que l'abattage des coteaux pourrait à volonté se faire sur divers points des vallées du Boués et du Lizon, au besoin même de la haute Bayse.

Entre ces divers points d'attaque, celui qui paraîtrait au premier abord le plus avantageux, quant aux résultats immédiats de l'opération, serait la partie du coteau de droite du Boués compris entre Bernadets et Bugars, que nous avons signalé dans notre premier mémoire. Un examen

plus attentif des localités nous porte à croire cependant qu'il vaudrait mieux débuter par le coteau qui se trouve à l'origine de la petite vallée du Lizon, bien qu'il soit moins nettement détaché que le premier. Les résultats ne seront pas de prime abord aussi avantageux ; mais, une fois la tranchée ouverte, sa hauteur ira promptement en augmentant, et l'on pourra la prolonger à volonté dans le massif principal de terrains sans valeur situés au sud de Bernadets, qui offrent un champ d'exploitation illimité. On pourra en outre, si l'on y trouve plus tard quelques avantages, opérer une section complète du coteau compris entre le Lizon et la Bayse, de manière à pénétrer dans la haute vallée de ce dernier cours d'eau. Bien que les deux formations superposées du diluvium et des marnes soient en général d'apparence à peu près identiques en divers lieux, on conçoit qu'elles doivent présenter quelques différences, et qu'il puisse être dès-lors très-utile de les mélanger en répartissant l'attaque sur plusieurs points assez éloignés l'un de l'autre à la fois.

Ce point de départ admis, nous pouvons examiner successivement les divers ouvrages d'art que l'on aurait à établir, sans parler du remaniement du canal principal de Lannemezan, que nous ne rappellerons ici que pour mémoire.

Il faudrait en premier lieu, ainsi que nous venons de le dire, prolonger ce canal entre la Bayse et notre point d'attaque. Cette dérivation pourrait s'effectuer à très-peu de frais, au moyen d'une rigole à large cuvette suivant la pente naturelle du terrain. Il se produirait sans doute quelques affouillements au début ; mais, — les cailloux siliceux compris dans le terrain restant sur place, tandis que les terres et les graviers seraient entraînés, — les eaux de la Neste fini-

raient par s'asseoir sur un lit solide et rendu inaffouillable, de tout point analogue à ceux dans lesquels coulent l'Arros, l'Adour et tous les autres cours d'eau naturels descendant des Pyrénées, qui conservent des pentes tout aussi considérables à la traversée des terrains diluviens [1].

Ce canal aboutirait pour le moment sur le plateau supérieur vers la cote 480 ; l'attaque du talus inférieur pourra commencer immédiatement au-dessous, à la cote 410 ou 420, sous une charge de 60 à 70^{m}, largement suffisante pour affouiller le terrain.

La marne, il est vrai, n'est pas en ce moment visible sur ce point, cachée qu'elle est par une trop grande épaisseur d'argile ; mais son existence est incontestable, puisque sur le revers opposé du ravin qui descend dans la Bayse au nord de Burg, elle est apparente à la cote 450 et même plus haut.

Les débris mélangés de marnes et d'argiles, après un débourbage préalable qui laissera sur place les plus gros cailloux et galets siliceux, seront reçus dans le canal broyeur qui, suivant un tracé très-facile sur les terrains faiblement inclinés de la rive gauche du Lizon, viendra passer derrière Bugars, et aboutira au col de Villemblits avec une

[1] On pourrait nous objecter une contradiction apparente entre cette prévision d'un lit stable s'établissant de lui-même en dépit de sa grande pente, et notre théorie générale sur l'entraînement et le broyage des cailloux par les torrents artificiels. L'entraînement doit en général avoir lieu dans un canal maçonné à parois invariables, où la hauteur des eaux, et par suite la vitesse, restent constantes. Mais on conçoit que cet entraînement doive finir par s'arrêter dans un canal à parois affouillables, pouvant attaquer ses rives, accroître sa largeur, et par suite diminuer sa vitesse jusqu'au moment où elle sera en équilibre avec la résistance des débris les plus lourds, enchevêtrés, imbriqués dans le sol, ainsi que nous l'avons exposé précédemment.

pente totale de 65^{m} environ, représentant une inclinaison de plus de 9^{m} par kilomètre pour un parcours de 7 kilom. environ. En principe, tous nos canaux devront être combinés en vue de réaliser le maximum de vitesse pour une section ou un débit donnés.

La solution théorique la plus satisfaisante serait celle d'un demi-cercle qui, produisant les moindres frottements, à section égale, aménagerait le mieux la force vive disponible. Les difficultés qui résulteraient d'un profil courbe pour le règlement des surfaces, et plus encore pour la confection des enduits de la cuvette, nous ont engagé à proposer la forme d'un trapèze avec talus latéraux à 45°, ayant des dimensions déterminées pour produire le maximum de vitesse pour une section donnée[1].

[1] En adoptant les notations ordinaires des formules d'hydraulique, représentons par :

χ le périmètre mouillé;

Ω la section;

R le rayon du périmètre mouillé $= \frac{\Omega}{\chi}$.

Dans l'hypothèse d'une section trapézoïdale, par :

l la largeur au plafond;

h la profondeur;

α le talus des berges.

Nous établirons une relation entre l et h en admettant que R soit un maximum pour une valeur donnée de Ω. Cette relation, facile à obtenir en égalant à zéro la dérivée de R, est

$$\Omega = h^2 (2\sqrt{1+\alpha^2} - \alpha) = 1,829\, h^2,$$

pour le cas particulier de $\alpha = 1$.

De cette relation et de la formule usuelle d'hydraulique,

$$\mathrm{R\,I} = \beta\, \mathrm{U}^2 = \beta \frac{\mathrm{Q}^2}{\Omega^2},$$

dans laquelle :

I représente la pente par kilomètre du canal,

U la vitesse moyenne du courant,

Pour le cas particulier du canal broyeur, les formules (1) donneraient :

Pour la profondeur du canal... $h = 1^m,216$
Pour sa largeur............. $l = 1^m,008$
Pour la vitesse du courant.... $v = 3^m,72$

Mais on doit s'attendre à ce que cette vitesse soit notablement amoindrie par les aspérités du coursier, par l'entraînement et parfois l'amoncellement des matières entraînées. Nous croyons donc qu'il sera convenable de porter à 2^m au moins la profondeur verticale du profil-type, en lui conservant une largeur de 1^m au fond. La pente moyenne de 9^m par kilomètre ne serait pas d'ailleurs uniformément répartie ; elle s'élèverait à 12 ou 15^m à l'origine, et diminuerait graduellement, pour ne plus être que de 5^m environ

Q son débit,
β un coefficient $= 0,40$.
On déduit facilement les formules suivantes d'application :

$$\left.\begin{aligned} h &= 0,751 \sqrt[5]{\frac{Q^2}{I}} \\ l &= 0,829\, h \\ \Omega &= 1,829\, h^2 \\ R &= \frac{h}{2} \\ \chi &= 3,657\, h \\ U &= \frac{Q}{\Omega} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Dans l'hypothèse d'un canal demi-circulaire dont la section serait toujours Ω, le rayon R' du périmètre mouillé étant égal à $\frac{r}{2}$, on trouverait la relation $\frac{R}{R'} = \sqrt{\frac{3,141}{3,657}} = 0,93$. La substitution du profil rectiligne au profil courbe aurait donc pour résultat de réduire le rayon R, ou, ce qui revient au même, le carré de la vitesse d'impulsion, de 7 p. °/₀ environ.

au col de Villemblits, la section du canal broyeur variant en conséquence dans l'intervalle.

CXXVII.

Vers l'extrémité du canal broyeur devraient se trouver les petites vannes de fond que nous avons indiquées comme pouvant servir à l'épuration des alluvions, en donnant une issue aux galets qui seraient entraînés avec elles. On pourrait distribuer ces déjections sur la rive gauche du Lizon; mais les terrains qui se trouvent en ce point ont en général une assez grande valeur et ne seraient pas d'ailleurs disposés pour servir au cantonnement d'une grande masse de ces débris. Il nous paraîtrait préférable de continuer le canal broyeur sur le versant du Boués, jusqu'à 2 ou 3 kilomètres au-delà du col de Villemblits, de manière à rejeter les cailloux et les graviers dans cette dernière vallée. Ils pourraient y être amoncelés à des hauteurs de 40 à 50^{m}, sur des terrains de valeur beaucoup moindre que les précédents. Il serait seulement nécessaire de reporter sur la gauche, par une déviation, le lit du Boués, de manière à ce que ses eaux de crue ne puissent pas entraîner une quantité trop considérable de ces matières pierreuses, qui pourraient devenir gênantes pour les riverains inférieurs. Cette dérivation du Boués, en plan, aurait une longueur de 3 ou 4 kilomètres, et isolerait à sa droite, sur une largeur moyenne de 400^{m}, une surface de 120 hectares environ, dans laquelle, sur une hauteur réduite de 30^{m}, — à raison des talus, — on pourrait cantonner au minimum 35 millions de mètres cubes de pierres et de graviers. Cet entrepôt serait certainement suffisant pour plus de vingt ans, en supposant un produit annuel de 15 à 20 millions de mètres cubes de limons, dont

moitié proviendrait des marnes entièrement exemptes de quartz, et moitié des argiles diluviennes, n'en contenant pas plus de 15 à 20 p. °/ₒ après un débourbage préalable au départ.

La dépense totale de la dérivation, y compris l'achat des terrains et la reconstruction d'un pont sous la route départementale, ne dépasserait certainement pas 400 000f. Ce sacrifice ne serait pas d'ailleurs définitif, du moins quant aux terrains qui momentanément devraient être transformés en entrepôt de déjections. Dès qu'ils auraient été chargés de tous les galets qu'ils pourraient emmagasiner sur 30m d'épaisseur moyenne, il suffirait de les recouvrir à leur tour d'une épaisseur convenable d'alluvions limoneuses, pour leur rendre une fertilité de beaucoup supérieure à celle qu'ils ont aujourd'hui. A cette époque, d'ailleurs, la tranchée ouverte dans les coteaux voisins des sources du Lizon aura été poussée assez loin pour qu'on puisse déplacer le canal broyeur, en reportant le point d'attaque en amont, soit dans le ravin de Bégrolles, soit dans la vallée principale de la Bayse; auquel cas un nouvel entrepôt, beaucoup plus vaste que celui du Boués, pourra être établi dans le fond même de la vallée du Lizon ou dans celui de la Bayse.

On pourrait utiliser au régalage des galets le temps des chômages périodiques correspondant à des débits de la Neste compris entre 8 et 13m à la seconde, pendant lesquels il faudrait, avons-nous dit, interrompre la fabrication des alluvions. En les faisant affluer en grandes masses par des vannes de décharge successives, ces eaux perdues, convenablement dirigées, en même temps qu'elles serviraient à balayer le canal broyeur, seraient utilisées pour régulariser la surface des pierrailles et les distribuer uniformément sur toute l'étendue de l'entrepôt.

Ces détails suffiront pour faire comprendre comment pourra se développer l'opération, marchant, suivant nos principes généraux, de l'aval à l'amont et se déplaçant, suivant qu'on jugera convenable d'attaquer tel point de préférence à tel autre, tout en ménageant des emplacements suffisants pour recevoir à peu de frais les déjections quartzeuses dont il sera utile de se débarrasser.

Le canal broyeur construit avec la section rappelée plus haut serait pavé en gros cailloux siliceux d'une épaisseur de $0^m,30$ à 0,40 sur tout son parcours. Il se terminerait, pour le moment, un peu au-delà de Villemblits, où commencerait le canal de transport proprement dit. La cote de hauteur, qui se réduit à 345^m en ce point, pour se relever un peu au-delà, s'abaisse ensuite à 285^m vers Miélan, qui se trouve à 20 kilomètres du col. Sur cette longueur la pente, uniformément décroissante à partir de 5^m, serait en moyenne de 3^m par kilom.

Au-delà de Miélan, le faîte du plateau se maintient à peu près de niveau sur de très-grandes longueurs, ou du moins n'a qu'une pente inférieure à la pente moyenne de notre tracé. Entre Miélan et Lupiac, sur plus de 35 kilomètres, la différence de niveau n'est que de 40^m. Rien ne sera donc plus facile que d'adopter, à partir de Miélan, une inclinaison définitivement uniforme qui, pour les 100 kilomètres compris jusqu'à Captieux, au point de bifurcation des faîtes, sera de $1^m,50$ par kilomètre.

Sur tout ce parcours, on pourrait à volonté se tenir sur l'un ou l'autre versant de la ligne de faîte ; mais il sera probablement préférable d'adopter celui de l'est, dont l'inclinaison est plus douce et le relief beaucoup moins accidenté.

Les formules générales (1) de l'article précédent donnent

pour les conditions théoriques du régime de ce canal[1] les chiffres suivants:

$$h = 1^m,74$$
$$l = 1^m,44$$
$$u = 1^m,80$$

En fait, il sera toujours prudent de se ménager un surcroît de hauteur de $0^m,75$ au moins dans les berges, et de porter en conséquence à $2^m,50$ la profondeur du canal, tout en lui conservant une largeur de fond de $1^m,44$. Il va d'ailleurs sans dire que la surface rugueuse des premiers kilomètres du canal broyeur sera remplacée par un revêtement lisse et glissant, dans le canal de transport.

CXXVIII.

Le canal de transport atteindra la bifurcation du faîte à la cote 130, près Captieux. A partir de ce point, il devra se diviser en deux branches principales : l'une se dirigeant vers la pointe de Grave avec une longueur de 140 kilomètr. et une pente moyenne assez sensiblement uniforme de $0^m,90$ par kilomètre; l'autre suivant le sommet du plateau des grandes Landes jusqu'aux environs de Morcenx à la cote 80, avec une longueur de 75 kilomètres et une pente moyenne de $0^m,66$ seulement par kilomètre.

L'idée la plus naturelle paraîtrait être de diviser l'eau limoneuse entre ces deux branches proportionnellement

[1] Nous avons calculé nos canaux comme s'ils ne devaient porter que des eaux claires. Des expériences directes que nous citerons plus loin (CXXXV) ont en effet prouvé, contrairement à notre attente, que le mélange d'une certaine quantité de limons ne diminuait pas nécessairement la fluidité des eaux courantes; que, loin d'atténuer leur vitesse, il paraîtrait plutôt l'accélérer.

aux surfaces à amender ; c'est du moins ce que l'on ferait s'il s'agissait d'une distribution d'eaux d'arrosage. Mais il doit en être tout autrement avec des eaux limoneuses, pour lesquelles il est indispensable de maintenir la plus grande vitesse possible de courant. Nous croyons donc qu'il sera préférable de ne pas faire fonctionner les deux branches simultanément, et dès-lors, en vue de réduire les frais de première construction, d'ajourner l'établissement de la branche du Médoc. Nous nous bornerions provisoirement à l'ouverture de celle de Morcenx, qui suffirait à elle seule à l'amendement de 300 000 hectares, à laquelle nous conserverions le profil-type du canal de transport.

La pente longitudinale étant, nous venons de le dire, réduite à $0^m,66$ par kilomètre, la vitesse théorique en eaux claires serait, d'après les formules (1), de $1^m,29$; la profondeur du canal de $2^m,79$; sa largeur de $2^m,31$.

En fait, cependant, nous croyons qu'on pourra conserver les dimensions de la section antérieure du canal de faite, sauf à réduire le débit à 7 ou 8^m au lieu de 10^m. Les 2 ou 3^m d'excédant seraient distribués par des rigoles secondaires vers Bazas d'un côté, vers Mont-de-Marsan de l'autre.

Les limons doivent être en général d'autant plus fluides qu'ils ont parcouru de plus grands espaces. Dans les mêmes conditions, ils doivent dès-lors être maintenus en suspension par des vitesses de plus en plus faibles[1].

[1] Ce principe peut aisément, sinon se démontrer, du moins se comprendre :

A défaut de formules positives sur les conditions d'écoulement des eaux chargées de troubles, nous ne pouvons sans doute émettre à cet égard que des hypothèses plus ou moins plausibles. Nous ignorons encore quelle est la quantité absolue de limons qu'un courant donné, chargé au maximum, peut maintenir en suspension; nous pouvons toutefois ad-

Un courant limoneux chargé au maximum peut se poursuivre sans dépôt avec des vitesses constamment décroissantes, car la fluidité augmente et les dimensions des molécules diminuent avec le transport. Mais nous ne saurions affirmer que les pentes successives que nous trouvons à partir de Villemblits seront précisément celles qui correspondront à une égale faculté de saturation sur tout le parcours du canal.

Nous ne pouvons, à cet égard, que prendre les lieux tels qu'ils sont. L'expérience seule pourra nous dire quelle sera la quantité finale de limons que pourra conserver en suspension la branche de Captieux à Morcenx. Elle sera certainement fort considérable. La pente de $0^m,66$ par kilom. bien que réduite, est cependant fort supérieure encore à celle de tous les canaux de colmatage connus. Elle est double de celle du canal de Marseille, qui, sans être jamais chargé à saturation, avec un débit égal à celui des Landes, charrie une quantité de limons qui dépasse parfois 4 p. °/₀ [1].

mettre que la réaction verticale qui conserve cet état de suspension est proportionnelle à la force vive ou au carré de la vitesse du courant. De plus, il paraît aisé de reconnaître que,—toutes choses égales d'ailleurs, quant à la nature minéralogique ou à la densité des limons,— pour une même vitesse, la valeur de cette réaction verticale doit être en raison inverse des dimensions linéaires des molécules limoneuses. Chacune d'elles, en effet, est maintenue en équilibre, entre la pesanteur proportionnelle au cube du rayon de la molécule, et la réaction verticale proportionnelle au carré de ce même rayon.

[1] M. le Directeur du canal a constaté, pour des vitesses de $0^m,75$, $1,25$ p. °/₀ de limons humides, représentant plus de 2 p. °/₀ de limons secs et stratifiés, d'une densité très-supérieure à celle des terres végétales. Nous-même, en restant cependant bien loin du point de saturation, avons obtenu un transport de plus de 9 p. °/₀ en poids (ou 6 p. °/₀ en volume), avec une vitesse de $1^m,44$, inférieure à celle qu'auront les eaux du canal des Landes.

Dans le cas où la faculté de saturation paraîtrait trop notablement réduite, à partir du point de bifurcation, il y aurait encore moyen d'utiliser toute la puissance du canal à l'amont. On pourrait, en premier lieu, diriger dans les canaux secondaires qui se détacheront en amont de Captieux, et dont la pente sera relativement beaucoup plus grande, les eaux de fond chargées des particules limoneuses les plus lourdes. La branche de Morcenx ne conserverait que les eaux de surface plus fluides. On pourrait en outre, et ce serait sans doute la solution la plus favorable, effectuer vers la cote 187, au confluent du Boués et de l'Arros, une nouvelle prise d'eau qui serait, sans trop grands frais, amenée au point de bifurcation des faîtes. On délayerait ainsi les limons dans une masse liquide plus considérable, qui pourrait être dirigée en entier sur le plateau des grandes Landes, ou répartie en même temps sur la branche du Médoc.

Ce sont là, en fait, des questions de détail et d'amélioration ultérieure qui pourront être étudiées en cours d'exécution, et d'ici là, sans doute, nous aurons eu occasion de compléter sur les conditions d'écoulement des eaux limoneuses une série d'expériences directes qui suppléeront à l'insuffisance des formules actuelles d'hydraulique.

Quoi qu'il en soit, sans pouvoir rien préciser d'absolu sur la quantité de limons que nous pourrons transporter, il est évident qu'elle sera énorme. Les expériences que nous venons de faire au bassin de Ponserot (CXXXV) nous ont démontré que la proportion de 10 p. % que nous avions énoncée dans notre première brochure, loin d'être exagérée, est inférieure au degré de saturation que comporterait la vitesse du canal de transport.

Par excès de réserve, toutefois, pour nous mettre à l'abri de tout reproche d'exagération possible, nous ne compte-

rons que sur les trois quarts de ce minimum, sur une proportion de 7 $^1/_2$ p. % en poids, ou ce qui revient au même 5 p. % en volume de limons secs. Dans ces conditions, avec un débit moyen de 240 millions de mètres cubes d'eau, nous obtiendrons annuellement un produit de 12 millions de mètres d'amendements qui permettront de fertiliser 24 000 hectares. Une proportion de 15 à 20 p. % de limons argilo-marneux est en effet plus que suffisante pour donner aux sables des Landes toute la consistance qui leur manque. Il suffirait dès-lors de répandre à la surface du sol une couche de 0^m,05 de limons mélangés, par une série de labours convenables, avec 0^m,25 d'épaisseur de sable, pour produire une excellente terre végétale dont la profondeur de 0^m,30 se prêterait à toutes les cultures des plantes alimentaires.

La répartition des limons à partir du canal principal s'effectuerait par un réseau de rigoles secondaires, suivant tous les faîtes qui séparent entre eux les affluents de la Leyre et de la Midouze. La section de ces rigoles serait variable suivant l'étendue des terrains à améliorer, et la pente des faîtes secondaires en tout point très-supérieure à celle du faîte principal. Ces rigoles secondaires pourraient être muraillées sur un type conforme à celui du canal principal. Elles paraîtraient *à priori* devoir être au nombre d'une vingtaine, d'une longueur totale de 270 kilomètres environ pour l'ensemble des grandes landes, comprenant les landes du Gers et celles des arrondissements de Marmande et de Bazas, en dehors du département des Landes lui-même.

Cet ensemble de canaux supposé établi à demeure, il resterait à faire la distribution définitive des limons par des canaux de troisième ordre. Établies en saillie sur le sol de la lande, ces rigoles inférieures s'embranchant sur les

canaux de deuxième ordre, seraient placées parallèlement à 1 000^{m} les unes des autres. Leur longueur totale, pour une surface de 500 000 hectares, n'aurait pas moins de 5000 kilom. Mais comme ces canaux n'auraient à fonctionner que pendant quelques jours chacun, leur établissement n'aurait pas besoin d'être définitif et pourrait s'effectuer successivement au fur et à mesure de l'avancement du répandage des limons. Nous n'aurons pas dès-lors à les faire figurer au chiffre des frais de premier établissement, à la condition seulement de compter dans les dépenses annuelles la fourniture et l'entretien du matériel correspondant à la surface qui sera fertilisée tous les ans. Ces canaux se composeront essentiellement de planches mobiles clouées sur des cadres en bois, posées à 0^{m},80 l'une de l'autre, moitié en remblai, moitié en déblai, dans une fosse creusée de 0^{m},20 à 0^{m},30 dans le sol.

Le répandage définitif des limons s'opérera, comme pour les colmatages ordinaires, en une seule couche dans des enceintes successives, closes de bourrelets de terre ou mieux de planches mobiles. L'opération sera d'autant plus rapide sur le sol des landes, que le sable boira en quelque sorte l'eau à mesure, ne laissant à la surface que le limon desséché, prêt à être mélangé au sable pour constituer le sol arable.

Une fois que l'expérience aura déterminé la quantité de limon que le canal principal pourra conduire, sans dépôt, rien ne sera plus facile que de le charger en conséquence au départ. La pente relativement considérable des croupes constituant les faîtes secondaires, permettra de donner aux rigoles qui les suivront une inclinaison suffisante pour que la vitesse atteigne ou dépasse celle du canal principal. Il n'y aura donc pas de dépôts dans ces canaux de deuxième

ordre ; mais il pourra arriver qu'il n'en soit pas de même pour les canaux mobiles de troisième ou de quatrième ordre, qui seront destinés à porter les limons au lieu d'emploi. La surface des landes n'est nulle part horizontale, comme on serait porté à le croire à la simple vue des lieux. Les patientes études qui ont été faites à ce sujet ont prouvé que dans les parties les plus plates, l'inclinaison du sol dans le sens de la plus grand pente n'était jamais de moins de 1^{m} par kilomètre et dépassait ordinairement ce chiffre. Cette pente, largement suffisante pour assurer l'écoulement des eaux pluviales et l'assèchement du sol, ne le sera peut-être pas toujours pour garantir la distribution des eaux limoneuses sans obstruction des rigoles. En admettant des canaux en bois de 0^{m},80 de largeur seulement, une pente de près de 5^{m} par kilomètre serait nécessaire pour assurer une vitesse théorique égale à celle qui correspond à la section du canal principal. Toutes les fois que l'inclinaison sera moindre, on pourra être exposé à voir se produire quelques dépôts; on y remédiera par des chasses et des curages, opérations qui entraineront sans doute quelques frais supplémentaires, mais qui n'en concourront pas moins à l'œuvre du répandage, puisque les produits de ces curages se trouveront utilisés sur place. Une main-d'œuvre plus ou moins considérable sera donc nécessaire pour régulariser et compléter sur chaque point l'œuvre du répandage. Cette opération sera d'autant mieux faite et d'autant mieux conduite qu'elle sera confiée à des ouvriers exercés, auxquels la pratique apprendra promptement à tirer le meilleur parti possible de la force mécanique des eaux courantes, pour guider et conduire les limons le plus près posssible du point où ils devront être finalement répandus.

Il paraitrait dès-lors convenable que cette dernière opé-

ration du limonage, au lieu d'être laissée aux soins des propriétaires, ainsi que la chose a lieu pour les arrosages ordinaires, fût effectuée par les ouvriers de l'administration du canal, dont les escouades acquerraient rapidement, pour ce travail spécial, la dextérité et l'habileté que la pratique seule peut donner.

CXXIX.

Nous avons vu d'où proviendraient les limons, comment ils seraient fabriqués, séparés des sables et graviers, transportés et distribués sur les landes. Il nous reste à examiner sommairement quels frais entraineraient ces diverses opérations comme premier établissement et entretien annuel.

La première dépense concernerait le remaniement du canal de Lannemezan. Il a jusqu'ici coûté 1 500 000f pour une longueur de 28 kilomètres. Il serait nécessaire de compléter la consolidation de la cuvette sur les 8 premiers kilomètres compris dans la traversée des terrains perméables, et d'en augmenter la section sur tout le parcours, de manière à le mettre en état de suffire à un débit permanent et régulier de 14m à la seconde. Nous estimons que cette réparation totale coûtera au plus un million. A partir de la Bayse, où le canal se termine aujourd'hui, il devra être prolongé sur une longueur de 16 kilomètres suivant la pente naturelle de la ligne de faite. Cette rigole, ouverte en terrain naturel, sur un sol sans valeur, à large section, pour amortir la vitesse des eaux, ne coûtera pas plus de 12f le mètre, soit environ 200 000f au total.

A l'extrémité de ce nouveau canal dominant le point d'attaque dans la vallée du Lizon, nous aurons à installer le système général de conduites alimentaires des jets d'eau.

Deux conduites en tôle ou fonte de 1m,00 de diamètre,

partant de la dérivation supérieure et reliées au pied du coteau par une conduite horizontale de pareille dimension, suffiront pour débiter, sans perte de charge trop sensible, environ 3 mètres cubes à la seconde ; le reste de la dérivation tombant en simple chute sur les terres désagrégées.

Le débit de la conduite principale alimentera les jets d'eau d'abattage, qui seront placés en tête d'une douzaine de conduites de $0^m,40$, se rapprochant à mesure du front d'attaque.

En admettant qu'on se serve de tuyaux de fonte reliés par des manchons, avec joints au plomb, on aura comme fourniture première :

1 500 mètres de gros tuyaux pesant 500 kilog. le mètre courant, manchons compris, à 20^f les 100 kilos	$150\ 000^f$
$3\ 000^m$ de petits tuyaux à 200 kilos	120 000
Somme à valoir pour vannes de décharge, robinets-vannes, lances mobiles des jets d'eau, etc	80 000
Total	$350\ 000^f$

Avec un pareil outillage on pourra facilement organiser un atelier capable de désagréger, sans déplacement des tuyaux principaux, 20 millions de mètres cubes représentant au moins le travail possible d'une année.

Le canal broyeur entre le point d'attaque et Villemblits aura une longueur de 8 kilomètres. D'après le type adopté, il coûtera environ 50^f par mètre courant, savoir :

$10^m,00$ de déblai à $0^f,80$	$8^f,00$
Revêtement en maçonnerie de gros blocs siliceux sur 0,50 d'épaisseur, $7^m,50$ à $3^f,00$	22,50
Achat de terrains, francs-bords compris, $20^m,00$ à $0^f,40$	8,00
Dépenses diverses ou imprévues, vannes de fond, etc	11,50
Total	$50^f,00$

Soit pour 8 kilomètres .... $400\ 000^f$

Le canal de transport à la suite aura la section indiquée plus haut. Nous avons hésité quelque temps sur la nature de son revêtement, qui constituera une des dépenses essentielles du projet.

Les moellons sont rares sur le tracé ; la brique est plus abondante, tout au moins en amont de Captieux ; mais son emploi serait toujours très-dispendieux. Le béton nous inspirait quelques inquiétudes ; mais la réussite complète d'un revêtement de ce genre, récemment exécuté presque sous nos yeux par l'ingénieur des salines de Villeroy, dans des conditions plus mauvaises que les nôtres, a levé toute incertitude à cet égard. Nous pouvons aujourd'hui considérer comme un fait d'expérience bien acquis, qu'un enduit de 0,07 à $0^m,08$ d'épaisseur, en béton de chaux hydraulique et sable, peut être appliqué en toute sécurité et toute garantie de solidité et de durée, sur des surfaces horizontales ou inclinées à 45°. Il existe plusieurs exploitations de chaux hydraulique dans la région des Pyrénées. Le sable de rivière se trouve en assez grande abondance dans le lit des torrents qui longent la ligne de faîte en amont de Captieux. Dans la traversée des Landes nous pourrons, avec plus d'économie encore, employer le sable naturel du sol, qui n'est sans doute pas de première qualité, mais qui vaut toujours autant, si ce n'est mieux, que le sable de mer employé au canal de Villeroy.

L'approche des matériaux étant partout facile, — car sur toute la ligne de faîte une bonne route longe le tracé, la fabrication du béton pouvant se faire par machines dans d'excellentes conditions, — nous croyons compter largement en portant à 15^f le prix du mètre cube de béton mis en place, ce qui ferait revenir le mètre carré de parement à $1^f,20$ au plus.

Dans ces conditions, le prix du mètre courant du canal de transport pourra s'établir comme suit :

8m,10 de déblai à 0f 80, règlement compris..............	6f,48
7m,40 de revêtements en béton à 1f,20..................	8,88
20m de terrains, francs-bords compris, à 0f,50............	10,00
Somme à valoir pour constructions de ponts de service, vannes, déversoirs, dépenses imprévues, ci................	4,64
TOTAL..........	30f,00

soit 3 600 000f pour les 120 kilomètres compris entre Villemblits et la bifurcation.

La branche principale du faîte des grandes landes, dans les mêmes conditions de type et de section, par suite du prix moins élevé des déblais et surtout des terrains, ne coûtera pas plus de 20f par mètre, soit 1 500 000f pour 75 kilomètres.

Les canaux secondaires auront généralement une section de 2m,50 carrés, dont les dimensions déterminées par les formules (1) seront 1m,00 de largeur à la base sur 1m,60 de hauteur, francs-bords compris.

Ils coûteront :

Déblais 3m,40 à 0f30..................................	1f,02
Revêtement 4m,68 à 1f,20............................	5,60
Terrains 12m à 0f,10..................................	1,20
Somme à valoir.......................................	2,18
PRIX du mètre courant.......	10f,00

soit pour 270 kilomètres une dépense de 2 700 000f.

A ces dépenses générales nous devrons ajouter 400 000f déjà comptés pour installation des chantiers de cantonnement des sables dans la vallée du Boués, et 500 000f pour achat de 500 hectares environ de terrains à désagréger, composés pour la plupart de landes argileuses, d'une valeur

réelle très-inférieure au prix moyen de 1 000f l'hectare.

Récapitulant ces chiffres, nous trouverons pour frais généraux de premier établissement :

Mise en état du canal de Lannemezan	1 000 000f
Prolongement du canal jusqu'au chantier d'abattage	200 000
Outillage au chantier d'abattage	350 000
Canal broyeur, 8 kilom. à 50f le mètre	400 000
Canal de transport, 120 kilom. à 30f	3 600 000
Canal des grandes landes, 75 kilom. à 20f	1 500 000
Canaux de deuxième ordre, 270 kilom. à 10f	2 700 000
Installation des chantiers de cantonnement des sables dans le Boués	400 000
Acquisition de landes argileuses et terrains à désagréger	500 000
Somme à valoir pour dépenses diverses ou imprévues, intérêts des capitaux avancés, frais d'études, etc	3 350 000
TOTAL des frais de premier établissement	14 000 000f

Les frais annuels s'élèveraient :

Pour montage et démontage de 4 500m de conduite à 4f le mètre en moyenne		18 000f
Pour journées à l'abattage, à raison de 3 hommes par jet d'eau, tout compris, 108 ouvriers divisés en trois postes, travaillant alternativement huit heures chacun sur vingt-quatre, à 3f par journée	324f	
Frais spéciaux de désagrégation des marnes	250	
Service du cantonnement des matières pierreuses, 20 journées à 3f	60	
Entretien et surveillance des canaux principaux, 50 journées de cantonnier à 3f	150	
Distribution des eaux de jour et de nuit sur une surface moyenne de 80 hectares par 24 heures ; 100 ouvriers répartis sur une dizaine de chantiers	300	
Mains-d'œuvres diverses	116	
TOTAL par journée de travail	1 100f	
A reporter		18 000f

Report.....	18 000f
et pour 250 journées de travail effectif.............	275 000
Surveillance générale, gérance, conduite des travaux, contributions, dépenses diverses ou imprévues.......	207 000
Installation de 600 kilom. de rigoles en bois pour distribuer les limons sur 24 000 hectares, à raison de 1f,50 le mètre courant, pour intérêt du prix d'achat, amortissement et entretien...........................	600000
Montant total des frais annuels..................	1 100 000f
Ajoutant l'intérêt du capital de premier établissement.	700 000
les charges annuelles s'élèveront à.................	1 800 000f

Dans la prévision d'un débit annuel de plus de 240 millions de mètres cubes d'eau, nous ne compterons que sur un rendement de 12 millions de mètres cubes de limon par an, bien que des expériences récentes nous aient démontré que ce chiffre serait probablement dépassé. Dans les conditions où nous nous sommes placé, il ne s'agira plus d'un mélange indistinctement composé de tous les produits d'une désagrégation opérée au hasard, mais bien de terrains exclusivement argilo-marneux, à l'exclusion des sables et galets siliceux, qui seront cantonnés au lieu de départ. Un pareil amendement, à raison de 12 à 15 p. °/o, suffira pour donner aux sables des landes toute la consistance nécessaire. La fertilisation d'un hectare n'exigera pas dès-lors plus de 500m, pesant 750 tonnes, et la masse produite pourra annuellement régénérer envion 24 000 hectares.

Le prix de revient ne dépassera donc pas 75f par hectare, 0f,15 par mètre cube, ou 0f10 par tonne de limons en place. Ce dernier chiffre nous permet mieux que tout autre d'apprécier le mérite économique de nos procédés. Dans l'état actuel, les vases de la Garonne, d'une valeur bien inférieure à celle des alluvions que nous comptons fabriquer artificielle-

Digitized by Google

ment, trouvent acquéreurs à 10 et 12f la tonne, sur tous les points des landes du Médoc, où elles peuvent arriver à ce prix. Dans le prospectus du chemin de fer du Médoc, nous voyons signaler, comme un élément de trafic considérable, la possibilité de les livrer aux propriétaires à 5f la tonne rendue en gare, à un prix trente fois plus élevé par suite que celui auquel nous arriverons, tous frais de répandage compris.

Dans l'état actuel, — en dehors de la production forestière, à laquelle elle est naturellement propre, — la terre des landes reste réfractaire à toute culture rémunératrice. Les engrais organiques s'y consument sans résultat ; les amendements minéraux, d'un prix coûteux sous un petit volume, n'y produisent et n'y produiront pas plus d'effet, car la stérilité du sol résulte autant de sa constitution physique que de son défaut de variété minérale.

Le mélange en proportions convenables des alluvions artificielles changera à la fois ces deux conditions. D'une part, il apportera au sol la potasse des feldspaths, le phosphate des marnes, en même temps que la silice, l'alumine et la chaux ; d'un autre côté, il lui donnera la consistance physique et la faculté d'absorption hygroscopique que nous avons vues être indispensables au développement régulier de la végétation.

Ainsi amendé, transformé, le sol des Landes se trouvera dans des conditions analogues à celles des meilleures terres d'alluvions de nos vallées; comme elles, il pourra être amené à produire 30 hectolitres de blé, 15 000 kilogrammes de fourrage à l'hectare. Mais à cette question de rendement se rattachent de nombreuses considérations économiques qui méritent d'être traitées avec attention, et nous leur réserverons un chapitre spécial.

CHAPITRE VI

GÉNÉRALISATION DE LA MÉTHODE DES ALLUVIONS ARTIFICIELLES; APPLICATIONS DIVERSES.

CXXX.

Nous avons exposé les motifs qui avaient déterminé notre choix des landes de Gascogne pour première application d'une méthode qui serait susceptible d'une très-grande généralisation. Les alluvions artificielles pourraient être adaptées, en principe, à tous les terrains qui, par une pente naturelle et régulière, se rattachent à un versant de hautes montagnes. Ces conditions topographiques sont beaucoup plus fréquentes qu'on ne le suppose.

La France surtout nous offre à cet égard d'immenses ressources. Autour de ses principaux centres de soulèvement s'étagent en vastes plateaux des épanchements de terrains glaciaires, diluviens ou sédimentaires, qui parfois ont pu être remaniés par les flots des anciennes mers, qui n'en sont pas moins le plus souvent le produit de la désagrégation d'une partie de la montagne elle-même, ces deux formations se complétant en quelque sorte l'une l'autre. Une ligne non interrompue rattache en général les épanchements latéraux au centre de soulèvement qui leur a servi de point de départ : rien n'est dès-lors plus facile que de rétablir le cours interrompu des anciens courants, ainsi

que nous avons proposé de le faire pour la fertilisation des Landes.

Parfois cependant, le chemin suivi par les déjections d'un autre âge géologique a été brusquement intercepté par quelque bouleversement postérieur. Tel serait, par exemple, le cas de la région des Landes si, contrairement à ce qui a eu lieu, un cataclysme quelconque avait rejeté la Neste dans l'Arros ou l'Adour, en coupant l'isthme relativement si étroit qui, seul, relie encore le massif de Lannemezan à la chaîne des Pyrénées.

L'heureuse disposition de ce plateau central, d'où rayonnent dans tous les sens les afluents de la rive gauche de la Garonne, en même temps que ceux de la rive droite de l'Adour, nous permettrait de diriger à volonté les amendements minéraux sur toute la région qui s'étend entre ces deux rivières et la mer, surface trois fois égale à celle des landes.

En dehors de ce centre principal d'émission, nous trouverions des applications analogues sur toute la région qui s'étend aux pieds des Pyrénées. A l'ouest de Tarbes, la route de Pau traverse le plateau d'Ossun,—de tout point semblable à celui de Lannemezan,—qui domine les deux vallées de l'Adour et du Gave. Il est destiné à recevoir sous peu une dérivation de cette dernière rivière, dont les eaux, convenablement aménagées, pourraient alimenter des courants limoneux qui rayonneraient sur la majeure partie du département des Basses-Pyrénées.

Vers l'est, les innombrables rivières torrentielles descendant des Pyrénées permettraient également de conquérir à une culture perfectionnée toutes les contrées qui s'étendent aux pieds des montagnes jusqu'à la grande dépression suivie par le canal du Midi.

Les torrents du Roussillon fourniraient au même titre les ressources suffisantes pour recouvrir en très-peu de temps d'un limon fertile la plaine caillouteuse comprise entre la chaine des Pyrénées et le rameau des Albères.

Les grands courants d'eau des Alpes pourraient de même se ramifier sur toute la rive gauche du Rhône, embrassant dans un réseau de terres fertiles deux provinces entières, la Provence et le Dauphiné.

La nature calcaire du Jura, qu'une infranchissable dépression sépare du sommet des Alpes ; le peu d'élévation de la chaîne du Morvan, rendraient peut-être plus difficile l'application de notre système à la rive droite du Rhône et au bassin de la Seine. En revanche, le massif des montagnes du centre nous offrirait un large approvisionnement de force motrice qui pourrait épancher des limons dans une infinité de directions, et principalement sur toute la rive gauche de la Loire, sur les immenses solitudes de la Sologne et de la Brenne, qui, par leur constitution géologique, leur aspect misérable et désolé, rappellent à tant de points de vue la région des Landes, qu'elles dépassent en étendue.

Autant qu'on peut s'en rendre compte par une appréciation sommaire, on ne saurait évaluer à moins de 10 à 12 millions d'hectares la superficie des terrains qui pourraient être appelés à profiter de cette régénération agricole ; et même, dans cette rapide énumération, doit-on s'attendre à rester plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité. Il en est souvent ainsi dans le développement naturel d'une idée nouvelle : les prévisions les plus exagérées en apparence restent encore en deçà de la réalité. Qui aurait, il y a trente ans, osé prédire le développement qu'a déjà pris en France le réseau des chemins de fer ! et cependant combien doit

l'emporter sur l'industrie qui facilite le transport des denrées alimentaires et industrielles, celle qui seule les produit!

L'œuvre dont nous poursuivons la réalisation a donc une importance très-considérable, qui peut rivaliser avec celle des chemins de fer. Pour mieux dire, les deux entreprises se compléteront l'une l'autre. Celle que nous préconisons a malheureusement pour elle à lutter contre toutes les difficultés d'un premier début : l'indifférence, le sarcasme, la dédaigneuse ironie qui s'attachent à toute innovation prédestinée à être longtemps méconnue ou bafouée par ceux-là mêmes qui seront les plus ardents à l'acclamer, les plus âpres à l'exploiter peut-être, après un premier succès.

Après un long examen de notre projet, le Conseil des Ponts-et-Chaussées, restreignant successivement le cadre de ses premières critiques, a cru devoir réduire à deux seulement les points sur lesquels le contrôle d'expériences directes lui paraissaient indispensables; ce sont : la puissance d'entraînement des limons par un courant déterminé, et la valeur agronomique de ces mêmes limons au point de vue de la fécondation du sol des Landes.

La première question, lorsqu'elle nous a été posée, ne pouvait présenter d'incertitude que du plus au moins. Depuis lors, nous avons pu invoquer l'exemple du canal de Marseille, qui, avec une pente de $0^{m},33$ par kilomètre et un débit égal à celui du canal des Landes, charrie, dans les grandes crues, jusqu'à 2 p. °/₀ ou 4 p. °/₀ de limons (suivant qu'on les mesure à l'état sec ou humide), et pourrait très-certainement en transporter davantage.

Plus récemment encore, en cours des travaux dont nous avons été chargé par la ville de Marseille pour la clarification des eaux de la Durance, nous avons eu occasion de

faire des expériences directes qui ont beaucoup reculé cette limite. Nous rappellerons plus loin (cxxxv) les résultats principaux de ces expériences, qui démontrent la possibilité d'entraîner, avec des vitesses analogues à celles du canal des Landes, non-seulement des proportions de vases très-supérieures à celles sur lesquelles nous avions basé nos premières appréciations, mais au besoin des sables, des graviers et des pierres de fortes dimensions.

Les observations faites au bassin de Ponserot sont assez concluantes pour qu'on ne puisse plus nous objecter la question d'entraînement des matières minérales. La valeur agronomique de nos alluvions ne saurait pas davantage faire l'objet d'un doute. Elles ne différeront des alluvions naturelles que par le choix rationnel des éléments minéraux entrant dans leur constitution.

Sur ce point, toutefois, nous ne nous refuserions pas à des expériences qui, sans infirmer en rien l'exactitude de nos principes, pourraient nous donner des indications positives sur les résultats, et nous éviter quelques-uns des tâtonnements de détail qui dans la pratique entravent parfois les premiers essais d'une industrie nouvelle.

Il n'est qu'une chose de regrettable dans le principe des expériences préalables auxquelles le Conseil-général a cru devoir subordonner l'approbation de notre projet : le retard que ces expériences ont pu ou pourront entraîner. Mais les retards, l'ajournement, sont les moindres maux auxquels nous devions nous attendre. Loin de nous la pensée de blâmer la prudente réserve dont le Conseil-général a cru devoir entourer son approbation. Bien différent en cela des corps savants, auxquels on a si souvent fait le reproche d'avoir systématiquement repoussé ou étouffé les idées nouvelles, le Conseil des Ponts-et-Chaussées a accueilli les nôtres avec

bienveillance: il n'a pas cru devoir s'en tenir à une première impression : il a bien voulu nous autoriser à revenir plusieurs fois à la charge, à lui soumettre de nouveaux éclaircissements. C'est seulement à la suite de ce long et patient examen que le Conseil nous a accordé la plus haute marque de confiance à laquelle il nous fût permis de prétendre : en prenant notre projet en sérieuse considération, et admettant en principe qu'il serait fait des essais aux frais de l'État pour en démontrer la valeur pratique.

Nous ne pouvions espérer davantage; le temps fera le reste. De jour en jour notre idée gagne du terrain, et les esprits les plus prévenus s'habitueront à comprendre que la fabrication rationnelle des terres végétales est une industrie comme les autres; qu'il ne s'agit, en somme, que d'approprier une fois de plus aux besoins de l'humanité, dans les conditions plus faciles, une faible partie de ces forces mécaniques immenses que la prévoyante nature nous fournit de toute part avec tant d'abondance.

Sans entrevoir d'objections sérieuses à notre système, nous ne nous sommes jamais dissimulé l'obstacle matériel que nous aurions à surmonter pour son application particulière à la mise en valeur des Landes. Cet obstacle est la question d'argent, le chiffre élevé des frais de premier établissement nécessaires pour obtenir des résultats, certains à nos yeux, mais qui, — à ceux du plus grand nombre, — peuvent laisser subsister des doutes inhérents à toute conception nouvelle, dont on ne voit encore la réalisation nulle part.

C'est à ce point de vue surtout que nous avions lieu de redouter que les expériences demandées par le Conseil général des Ponts-et-Chaussées n'eussent un caractère trop théorique, ne parlassent pas assez aux yeux du public, qu'il

faudrait frapper par les résultats pratiques d'une opération industrielle et non par les produits discutables d'un essai de laboratoire.

Notre but spécial est la fertilisation du territoire par les alluvions artificielles ; mais en dehors de cette œuvre principale, les procédés mécaniques dont nous recommandons l'emploi peuvent recevoir d'autres applications pratiques, donner naissance à des entreprises accessoires plus simples et plus immédiates dans leurs résultats, dont la réussite serait sans doute un puissant acheminement à la réalisation ultérieure de notre projet principal.

C'est dans cette prévision que, tout en étudiant plus particulièrement ce qui avait trait au programme des expériences restreintes qui nous était demandé par l'Administration supérieure, nous nous sommes préoccupé des applications directes et plus immédiatement réalisables que l'emploi de nos procédés de désagrégation et de transport des matières minérales pourrait comporter. Ajournant pour un moment l'entreprise principale, nous avons concentré nos recherches sur des projets plus modestes, ayant pour but l'exécution rapide d'un grand travail de terrassement, réputé impossible par les moyens ordinaires. Nous ne croyons pas inutile d'exposer avec quelques détails une partie de ces études accessoires. Si ces projets ne sont, pas plus que celui des Landes, appelés à une réalisation très-prochaine, ils n'en auront pas moins l'avantage de mieux préciser notre pensée et de faire ressortir les nombreux services industriels qu'on peut attendre de l'emploi des torrents artificiels.

CXXXI.

Une des opérations les plus simples en apparence, sur lesquelles notre attention ait été appelée de prime abord, concerne les aménagements de la poudrerie de Saint-Chamas, dans le département des Bouches-du-Rhône. Cet établissement occupe un espace beaucoup trop resserré entre l'étang de Berre et les falaises escarpées d'un plateau de mollasse qui domine vers le nord la cuvette de l'étang. Du massif principal de la mollasse se détache une étroite colline qui sur une assez grande longueur sépare l'étang de la vallée de la Touloubre, et divise la ville de Saint-Chamas en deux parties distinctes.

Diverses galeries souterraines avaient été creusées dans les flancs de cette colline, les unes pour la traversée des canaux d'irrigation et de mise en jeu des machines de la poudrerie, les autres pour établir des relations plus faciles entre les deux versants de la ville.

La plus importante de ces galeries étant venue à s'effondrer il y a peu d'années, les communications se trouvèrent à peu près complètement interceptées d'un quartier de la ville à l'autre, et l'Administration locale se préoccupa de substituer à l'ancienne galerie souterraine une tranchée à ciel ouvert, libre en tout temps et à l'abri de toute obstruction nouvelle.

L'Administration de la guerre, en même temps qu'elle avait intérêt à l'établissement d'un passage facile et permanent, qui évitât de trop longs détours à la nombreuse population ouvrière habitant l'autre versant de la colline, se trouvait fort à l'étroit dans l'espace qu'elle occupait, et crut devoir

profiter de la circonstance pour s'agrandir aux dépens de l'étang.

Les déblais provenant de la tranchée aujourd'hui achevée ont été employés à édifier en partie une digue qui doit séparer de l'étang un petit golfe d'une superficie de 150 hectares environ. C'est sur cet emplacement que s'étendront les dépendances futures de la poudrerie; mais il faudra au préalable en opérer le comblement par des profondeurs de 2 à 3^{m} d'eau.

Les ingénieurs militaires ont estimé que ce travail pourrait être effectué en vingt ans, en y portant les eaux troubles de la petite rivière de la Touloubre, qui sert à la mise en jeu des machines hydrauliques de l'établissement. Nous avons tout lieu de craindre qu'il ne faille s'attendre à cet égard à de graves mécomptes. D'une part, si limoneuses que puissent être les eaux de la Touloubre, auraient-elles une teneur moyenne égale à celle de la Durance, qu'on ne saurait évaluer à plus de 120 à $140\,000^{m}$ la quantité de troubles que pourrait fournir annuellement un bassin de 35 000 hectares environ. Le volume de l'atterrissement à produire, sur une profondeur moyenne de $3^{m},50$, nécessaire pour s'élever au-dessus des hautes eaux de l'étang, atteindrait 5 millions de mètres, exigerait par suite quarante ans, si toutes les eaux de la Touloubre pouvaient être employées à cet usage; mais il n'en est pas ainsi. La rivière ne débouche pas elle-même dans l'espace à combler; elle se trouve au pied de l'autre versant de Saint-Chamas. On ne pourrait utiliser pour le comblement que les eaux du canal de dérivation qui traverse en souterrain le faîte de partage. Dans la saison des crues, au moment où les eaux sont le plus limoneuses, on n'amènerait qu'une minime partie de leur débit total. Il est dès-lors fort probable que le laps de

temps nécessaire pour achever le comblement par les moyens indiqués, serait une ou plusieurs fois séculaire. Il y a d'autant plus de raison de le supposer, que la surface à colmater est inférieure en étendue à celle du delta total que la rivière de la Touloubre, livrée à elle-même, a pu produire dans l'étang de Berre pendant toute la durée de la période géologique moderne.

C'est dans cette prévision, — que l'Administration de la guerre ne pourrait de longtemps disposer des terrains en vue desquels elle a pris à sa charge la majeure partie des dépenses faites à Saint-Chamas, — que nous avions songé à lui proposer de recourir à l'emploi de nos procédés, pour obtenir un comblement immédiat.

Les bords de l'étang sont dominés de toute part par les falaises abruptes du plateau de mollasse dont l'altitude varie de 35 à 40m. A la surface de ce plateau arrivent des rigoles d'arrosage dérivées du canal principal de Craponne. Ces rigoles pourraient sans trop grands frais être élargies et mises en état de débiter un mètre cube par seconde. Sans préjudice pour les intérêts existants, elles pourraient ainsi, pendant la saison d'hiver, en dehors du temps des arrosages, fournir, avec une charge suffisante, l'eau nécessaire à l'alimentation de jets d'eau qui battraient en brèche le pied des falaises et entraîneraient leurs débris dans l'étang. La mollasse présente l'aspect d'une marne sablonneuse, affouillable sur presque toute sa hauteur, sauf la couche supérieure, formée d'un grès plus dur, d'épaisseur variable, dont les fragments disloqués, repris sur place et transportés par les moyens ordinaires, serviraient à compléter la digue d'isolement qui n'a pu être achevée avec les seuls matériaux résistants qu'ait fournis la tranchée ouverte dans la colline de Saint-Chamas. En admettant qu'on pût disposer de

1 000 litres d'eau par seconde pendant six mois de l'année, il serait probablement possible d'effectuer un remblai journalier de 5 à 600^m, soit un million par an environ. A ce taux, l'opération prendrait encore cinq ans. On pourrait probablement l'activer beaucoup en joignant au débit des jets d'eau alimentés par les eaux supérieures du canal de Craponne, une dérivation plus abondante des eaux de la Touloubre, qui n'agiraient qu'avec une chute de 12 à 15^m, insuffisante sans doute pour déterminer l'abattage, mais qui pourraient en partie servir à l'entraînement des matières désagrégées.

L'opération que nous indiquons ne présenterait probablement aucune difficulté technique sérieuse. Elle n'exigerait pas un capital de premier établissement considérable. Ses avantages réels seraient toutefois surbordonnés au besoin immédiat que l'Administration de la guerre peut avoir des terrains à conquérir, et à la valeur toute de convenance particulière qu'il lui plairait de leur assigner.

Avant toute mise à exécution il faudrait d'abord convaincre cette Administration de l'efficacité de nos procédés; obtenir son concours en même temps que le consentement des propriétaires et des usagers du canal de Craponne; acquérir enfin à l'amiable les terrains à désagréger.

L'opération principale se trouverait, comme on le voit, compliquée de questions accessoires qu'il serait peut-être difficile de résoudre en temps opportun. Aussi n'avons-nous pas cru devoir donner suite à notre idée première, qui avait été d'engager l'Administration supérieure des Ponts-et-Chaussées à faire porter en ce point les essais de désagrégation et de transport des matières minérales dont elle nous avait demandé le projet.

CXXXII

L'exemple que nous venons de citer d'un comblement à opérer dans l'étang de Berre pour le service de la poudrerie de Saint-Chamas, a surtout pour but de faire ressortir les avantages de la méthode des alluvions artificielles appliquées à l'amendement d'un sol déjà existant, de préférence à la création d'un sol nouveau conquis sur une nappe d'eaux profondes.

500^{m} de limons convenablement choisis suffiront pour fertiliser un hectare de terre dans les landes de la Gascogne ou de la Sologne. Un cube 80 fois plus grand de matières minérales serait nécessaire pour faire émerger un hectare du littoral de l'étang de Berre.

Une opération faite sur ces dernières bases ne serait productive que tout autant que les terrains gagnés auraient une valeur élevée, en général supérieure à celle d'un simple sol arable. Il est douteux que les terrains de Saint-Chamas se trouvent dans ce cas ; mais il est telle circonstance où la destination particulière du sol peut justifier des sacrifices bien plus considérables encore. Nous en trouverons un exemple non loin de là, au chef-lieu même du département, à Marseille.

Le territoire de cette grande cité est très-restreint; il peut être considéré comme formant la partie supérieure d'une lentille de terrain tertiaire enchâssée dans les calcaires, qui aurait pivoté sur un axe horizontal orienté du NNO. au SSE. D'une part, de cet axe figurant la plage, se relève la banlieue cultivable, qui s'appuie sur les formations arides et escarpées des montagnes de la Nerthe ; d'autre part se creuse la rade, défendue par le prolongement de ces mêmes

montagnes sur les côtés, par le pointement saillant des îles du Frioul à l'avant.

Les mollasses tertiaires occupant la partie continentale de cette enceinte, s'étagent en gradins successifs profondément découpés par des ravins, depuis le bord de la mer jusqu'à leur point de contact avec le calcaire de la Nerthe, à la cote 150. Les collines de la mollasse se terminent en falaises séparées par de petits vallons qui dessinent une suite d'anses inégales dont les plages successives, formant le fond de la rade, s'étendent en ligne sensiblement droite, sur une longueur de 7 à 8 kilomètres, entre le pied du pic Notre-Dame de la Garde à gauche (en regardant la mer), et les coteaux calcaires de Lestaque à droite.

Isolée du continent par des montagnes arides, des déserts incultes, Marseille ne pouvait attendre de ce sol ingrat les éléments de sa richesse; mais elle s'est largement dédommagée du côté de la mer. Citée depuis les temps historiques les plus reculés comme une des villes les plus florissantes du littoral de la Méditerranée, elle a, dans ces dernières années surtout, pris un développement industriel et commercial qui s'accroît chaque jour.

Ses anciennes enceintes, son vieux port, sont devenus insuffisants, et, pour y suppléer, il a fallu exécuter un ensemble de magnifiques travaux qui se poursuivent sans relâche, et cependant peuvent à peine faire face à des besoins chaque jour renaissants.

Le port naturel, plus ou moins recreusé de main d'homme, qui a donné naissance à l'antique cité, constitue un bassin intérieur profondément encaissé dans les terres, qui n'ouvre sur la rade que par un étroit goulet resserré entre le pied du pic de la Garde sur la gauche et le massif d'une butte tertiaire sur la droite. A l'abri des attaques de l'ennemi,

aussi bien que des atteintes du vent, ce port a formé le centre autour duquel se sont groupés les établissements maritimes et les habitations des premiers occupants. Ceux-ci toutefois se sont portés de préférence sur la colline de droite, constituant le vieux Marseille, naguère encore dédale de rues étroites et tortueuses inaccessibles aux voitures, barrière qui pendant longtemps a limité tout développement de ce côté.

La ville pouvait bien moins encore s'étendre sur les flancs escarpés du pic de la Garde, longeant la rive gauche du port. Étranglée entre ces deux obstacles, elle n'a pu se prolonger qu'en arrière ; singulière disposition pour une cité maritime, qui jusqu'à ces dernières années, ne touchant la mer que par un point, s'est épanouie en éventail vers l'intérieur du continent.

Pendant que la population,—cédant à l'instinct naturel qui l'attirait vers cette mer, source de ses richesses,—en recherchait la vue et les poétiques horizons dans l'établissement des innombrables villas qu'elle étageait sur toutes les croupes de sa banlieue, elle la fuyait, au contraire, dans ses demeures permanentes, qui de jour en jour allaient s'enfonçant plus avant dans les terres.

Tel était encore l'état des lieux, il y a moins de trente ans, lorsque, reconnaissant enfin la nécessité de suppléer à l'insuffisance du vieux port, on eut l'heureuse idée d'établir un nouveau bassin sur le bord même de la rade, à droite du goulet.

De ce jour seulement, où Marseille fut enfin mise en possession de son véritable élément, date pour elle une ère de prospérité nouvelle dont il est en quelque sorte impossible de prévoir les limites. Au premier bassin de la Joliette se sont successivement ajoutés les bassins du Lazaret, d'Arenc, Napoléon, tous trois terminés ; le bassin

Impérial sur le point de l'être ; et déjà, dans un avenir prochain, on entrevoit la continuation de cette magnifique série de ports extérieurs qui, des Catalans à Lestaque, doivent s'étendre sur une longueur de 7 à 8 kilomètres.

En arrière d'une ligne de quais intérieurs bientôt sans rivale au monde, ont déjà commencé à se dessiner les quartiers d'une troisième ville toute littorale, que nous pourrions appeler la ville de l'avenir, en regard de la vieille ville, groupée sur une colline inaccessible, et de la ville actuelle, œuvre des siècles modernes, qui n'avait accès que sur le vieux port.

Une seule tache déparait ce beau plan du nouveau Marseille : l'existence de la vieille ville isolant les deux autres. On y a déjà remédié par l'ouverture de la rue Impériale, vaste tranchée ouverte, rue et maisons, dans le massif de l'antique cité, large avenue reliant l'un à l'autre les deux centres principaux de l'agglomération totale.

Aujourd'hui, l'ensemble est parfaitement arrêté. Les voies principales sont ouvertes ; il ne reste plus qu'à poursuivre l'exécution des travaux commencés, et c'est dans l'achèvement de cette œuvre importante que nos procédés économiques de terrassements nous paraîtraient devoir être d'un grand secours.

Les nouveaux ports de Marseille ont été exécutés sur un type uniforme des plus heureux, aussi recommandable par la simplicité que par l'économie des moyens mis en œuvre. Deux jetées en enrochements parallèles à l'alignement général de la plage, ont isolé l'emplacement des bassins, d'une part des hautes eaux de la rade, de l'autre des parties continentales qui, trop peu profondes pour maintenir à flot les bâtiments, ont été destinées à recevoir les quais, les rues et les habitations des nouveaux quartiers.

Digitized by Google

C'est ainsi qu'en gagnant sur la rade les cinq ports déjà presque achevés, on a aménagé derrière eux une vaste étendue d'emplacements d'une grande valeur, qu'il a suffi de combler avec des terres rapportées, provenant en grande partie de la trouée nécessitée par l'ouverture de la rue Impériale.

Ce qu'on a déjà fait sur 3 kilomètres, il reste à le continuer sur 4 kilom. encore. L'entreprise doit comprendre deux natures de travaux différents : les enrochements déterminant l'assiette des bassins à l'avant, le comblement des terrains réservés à l'arrière. En admettant qu'on prolongeât les alignements déjà adoptés, la surface de ces derniers terrains serait de 120 hectares. Elle se réduirait à un peu moins de 100 hectares, si, pour éviter une trop grande profondeur dans l'établissement des digues du large, on se décidait à rompre leur alignement extérieur à partir du bassin Impérial, pour venir rejoindre la côte à Saint-Henri, au lieu de Lestaque.

Le comblement exigerait un remblai moyen de 4 à 5m de profondeur, représentant un volume total de 4 à 5 millions de mètres cubes.

Les remblais ont été jusqu'ici effectués avec les décombres provenant des terrassements de l'intérieur de la ville, et plus particulièrement ceux de la tranchée de la rue Impériale. Mais cette ressource est loin d'être inépuisable. Le prix des transports augmenterait d'ailleurs à mesure qu'on s'éloignerait du centre du vieux port. Un jour prochain viendrait, sans doute, où le comblement devrait être opéré par une attaque directe des falaises tertiaires longeant la côte. Le prix d'extraction et de transport par les procédés ordinaires, à part la valeur du sol servant de chambre d'emprunt, ne s'élèverait pas à moins de 3f par mètre cube.

A ce compte, il faudrait de 12 à 15 millions pour opérer le terrassement que nécessiterait l'assiette du nouveau Marseille sur le bord de sa magnifique rade. Tel est le travail que nous voudrions voir exécuter par l'emploi du procédé d'attaque proposé pour les alluvions artificielles.

Le canal qui conduit à Marseille les eaux de la Durance fournirait en abondance la force motrice. Il débouche dans l'enceinte de la banlieue à la cote 150^{m}. Son débit est de 8 à 10^{m} à la seconde, quantité bien supérieure aux besoins, en toute saison, et principalement en hiver. Une partie de l'excédant pourrait être utilisée pour la mise en jeu des appareils de désagrégation. Les masses à détruire seraient naturellement les assises superposées de la mollasse, connues dans le pays sous le nom de *saffre*. Ces terrains *à priori* paraissent peu affouillables. Ils se composent en général d'une couche inférieure d'argiles rougeâtres peu consistantes, supportant une formation puissante de marnes grises très-dures, ayant en apparence le grain de la pierre, dont l'extraction nécessite aujourd'hui l'emploi de la poudre; au-dessus règne une couche de poudingues variables, dont les uns ne sont que des sables à demi-agglutinés, les autres de véritables grès.

Les jets d'eau ne pourraient agir directement, avec certitude de succès, que sur la couche argileuse inférieure. Son affouillement amènerait nécessairement la rupture et la dislocation des masses supérieures. Parmi les terrains de la surface, il en est quelques-uns qui conserveraient une certaine dureté et pourraient être utilisés comme moellons ou enrochements. Quant à la couche intermédiaire des marnes, elle jouit intégralement de la propriété de se déliter et de fuser au contact de l'eau. De tous les échantillons que nous avons recueillis sur place, il n'en est pas un qui

ait résisté à une immersion d'une demi-heure, sans se transformer en boue fluide, tout à fait analogue, comme aspect et composition minérale, aux dépôts limoneux qui se forment de nos jours dans les bassins de décantation du canal de la Durance. Il suffirait bien évidemment d'arroser à la lance le monceau provenant d'une première dislocation, pour amener une sorte de liquéfaction de la masse qui, pour les cinq sixièmes au moins, pourrait être entraînée par les eaux courantes et déposée en tel point du littoral qui serait jugé convenable.

Quant au choix à faire des collines à désagréger, l'idée première serait sans doute de s'établir sur le littoral et de battre en brèche les parties saillantes du cap Pinède ou du cap Janel, pour en employer les débris au comblement des baies adjacentes. Mais cette manière de procéder nécessiterait la construction de canaux de dérivation très-coûteux, car ceux qui arrivent déjà sur ces buttes, pour l'arrosage, ne sont que de faibles rigoles d'un débit complétement insuffisant pour la nouvelle destination qu'il s'agirait de leur donner. Le peu d'étendue des falaises littorales ; la valeur considérable des terrains, qu'augmenterait encore le défaut de concurrence possible entre leurs propriétaires, nous engageraient à renoncer à cette combinaison, pour reporter le chantier d'attaque aux points les plus élevés de la formation du saffre, au voisinage du canal principal de la Durance. Le sol y serait moins coûteux, et son abaissement, loin de le déprécier, pourrait parfois au contraire en augmenter la valeur.

Les terrains désagrégés dans ces régions supérieures seraient portés au lieu d'emploi, en suivant une rigole en bois établie dans le lit d'une des ravines qui vont déboucher à la mer après un parcours de 3 kilomètres environ.

Il serait assez difficile de préciser *à priori* les frais réels de l'entreprise. On pourrait, croyons-nous, l'estimer à peu près comme suit :

Installation des tuyaux et chantiers d'abattage.......	50 000f
Achat ou dépréciation de 25 hectares dénudés sur une hauteur moyenne de 20m........................	250 000
Aménagement du canal de transport, 3 000m de canal en bois à 10f..................................	30 000
Main-d'œuvre et frais divers..........................	170 000
Total............	500 000f

Sans parler de la valeur de l'eau, le terrassement projeté ne coûterait pas plus de 500 000f ; ce qui ferait revenir à 0f,10 le prix du mètre cube de remblai effectué, à 0f,50 le prix du mètre carré de terrains conquis.

L'opération toutefois serait subordonnée à l'exécution d'un travail plus coûteux à lui seul que le remblai total ; nous voulons parler des digues en enrochement devant limiter au large les bassins du port et retenir les terres du côté du continent. A la rigueur, on pourrait ajourner les digues extérieures, mais on ne saurait se dispenser d'exécuter celles des quais intérieurs. Immergées par une profondeur moyenne de 5 à 6m, elles nécessiteraient une fourniture de 60 mètres cubes d'enrochements et une dépense de 500f environ par mètre courant, soit un total de 2 millions.

Cette dernière opération, en tout cas nécessaire, constituerait une dépense d'ordre indépendante du mode adopté pour l'exécution des terrassements. En la faisant entrer en ligne de compte dans l'entreprise du comblement, elle porterait la dépense à 2 millions et demi. A ce prix on obtiendrait l'établissement d'une banquette horizontale de 1 million de mètres de terrains longeant la rade, dans les meilleures conditions désirables pour l'installation des in-

dustries qui, sans exiger le voisinage immédiat du centre de la ville, ont besoin de vastes espaces peu coûteux pour se développer. Déduction faite des quais, places et rues, la surface de ces terrains, qui pourrait être finalement livrée aux constructions particulières, serait encore de 800 000m, d'une valeur intrinsèque de 20f le mètre en moyenne, tout au moins.

La somme totale ne serait sans doute pas immédiatement réalisable. Mais, fallût-il attendre quatorze ou quinze ans pour se défaire de l'entière surface à ce prix de 20f le mètre, très-certainement dépassé à la fin de la période, que la succession des termes de paiement équivaudrait encore à un capital escompté de 10 millions, quatre fois supérieur à celui des frais de premier établissement.

Nous n'avons pas fait entrer dans les dépenses la valeur de l'eau motrice employée, parce que nous avons admis que l'entreprise dont nous esquissons les bases serait essentiellement municipale, ne pourrait être faite que par la ville ou avec son concours. C'est à elle qu'il appartiendrait de solliciter de l'État la concession des terrains à conquérir, sauf abandon, de sa part, de tout ou partie des bénéfices, comme contribution dans les derniers travaux qui auraient pour objet l'achèvement des ports par l'établissement des digues du large.

Ces dernières digues seraient naturellement beaucoup plus coûteuses que celles qui n'auraient qu'à soutenir les quais intérieurs. La dépense qu'elles occasionneraient serait en partie subordonnée à la direction qui serait définitivement adoptée pour l'alignement extérieur, en prolongement ou en arrière de celui qui est suivi pour le bassin Impérial.

Cette dernière question est d'ailleurs complétement étrangère à notre sujet. La construction et le prolongement des

ports sont dans des mains trop habiles et trop exercées pour que nous puissions nous permettre un avis. Nous n'avons eu d'autre but que de montrer comment l'affectation aux terrassements d'une partie des eaux surabondantes du canal de la Durance pourrait être un utile auxiliaire de cette grande entreprise. A cet emploi tout spécial ne devrait pas d'ailleurs se borner le parti que la ville pourrait tirer de cette force motrice, aujourd'hui perdue pour elle. Le canal pourrait être en ses mains un outil qui permettrait d'exécuter presque sans frais des terrassements considérables, qu'on n'oserait jamais aborder par les moyens usuels; qui, s'adaptant au déblai comme au remblai, donnerait le moyen d'opérer un nivellement général de toutes les parties du territoire sur lesquelles devront s'asseoir de nouveaux quartiers; qui très-probablement aurait déterminé une économie considérable de temps et d'argent, si on avait songé à l'utiliser pour les travaux du percement de la rue Impériale.

CXXXIII.

Il serait inutile de multiplier les exemples des conditions locales dans lesquelles on pourrait employer les torrents artificiels à produire à peu de frais des terrassements en grande masse. Les projets dont nous nous sommes occupé jusqu'ici avaient tous pour but d'aménager la force mécanique des eaux courantes, à l'effet d'en retirer un travail maximum de désagrégation et de transport des matières minérales.

Le département des Bouches-du-Rhône, où circulent dans tous les sens les dérivations de la Durance, nous offrait à cet égard un vaste champ d'études que nous ne pouvions négliger. C'est en y poursuivant nos recherches que nous

avons été conduit à nous occuper d'une difficulté inverse en apparence : la clarification des eaux bourbeuses et les moyens de leur rendre leur limpidité première en les débarrassant des limons dont elles sont chargées.

La solution de ce problème n'est qu'une extension du principe des vannes de fond, que nous avons déjà proposé pour la séparation des vases et des sables, dans notre projet de fertilisation des Landes. Ces questions, diverses en apparence, se relient en fait l'une à l'autre ; elles constituent dans leur ensemble une théorie générale de l'aménagement des eaux limoneuses, dont nous nous efforçons dans cet ouvrage de dégager les lois essentielles, peu connues jusqu'ici.

C'est encore à Marseille que nous avons eu à étudier cette nouvelle application pratique de nos procédés.

Dans l'article qui précède, nous avons parlé du canal de la Durance, qui amène sur le territoire, jadis desséché de cette grande ville, un véritable fleuve, une dérivation de 10m à la seconde. Marseille est fière, à juste titre, de ce magnifique ouvrage, qui par ses proportions grandioses laisse bien loin de lui les aqueducs romains les plus célèbres ; mais les services que ce canal a pu rendre à la population sont bien atténués par l'état d'impureté des eaux, que la moindre pluie rend troubles et bourbeuses.

La proportion des limons charriés est très-variable d'un jour à l'autre. Elle atteint parfois jusqu'à 4 ou 5 p. % du volume des eaux en temps de fonte de neiges ou de pluie; elle est presque nulle et les eaux coulent à peu près limpides pendant les fortes gelées d'hiver ou les grandes sécheresses d'été. Dans son ensemble, la teneur moyenne est de 0,001. Un canal d'une portée de 10m à la seconde doit conduire annuellement 300 millions de mètres cubes d'eau, 300 000 mètres cubes de limons ; — quantité qui

serait minime pour un colmatage à répartir sur de grandes surfaces; qui est énorme, au contraire, pour les eaux réservées aux besoins industriels et domestiques d'une grande population.

Quelques réservoirs de dépôt, d'une capacité totale de 8 à 900000 mètres cubes, avaient été à l'origine échelonnés sur le parcours du canal, pour retenir les troubles. Ils ont été promptement comblés, sans qu'on ait pu parvenir à les nettoyer par des procédés rapides et économiques. Depuis plusieurs années, les eaux de la Durance arrivent à Marseille dans leur état de nature, en flots boueux, répugnantes à la vue, impropres aux usages publics et privés.

On comprend l'importance que l'Administration locale attache à ce problème de l'épuration des eaux de la Durance, qui revient à chaque séance du Conseil municipal, qui depuis quinze ans est à l'ordre du jour, sans avoir reçu de solution satisfaisante.

Ce n'est pas que les projets aient manqué. Lorsque nous avons présenté le nôtre, il s'en était déjà produit plus de cinquante, dans le concours public ouvert à cet effet. Leurs prévisions de dépenses se chiffraient par millions, et dans le nombre il n'en était aucun qui jusqu'ici eût offert des garanties assez certaines de succès pour qu'on eût osé en entreprendre l'exécution.

Il n'est que trois méthodes pratiques qui puissent être employées à clarifier des eaux ; ce sont : le filtrage naturel, le filtrage artificiel, et la décantation.

Le filtrage naturel consiste à ouvrir dans les graviers perméables des rives, au-dessous du niveau habituel des eaux de la rivière alimentaire, des rigoles découvertes ou des galeries de drainage dans lesquelles viennent se réunir les filtrations latérales.

L'efficacité de l'opération repose sur la libre communication qui doit nécessairement exister entre les graviers des rives et ceux qui occupent le fond normal du cours d'eau, ces derniers constituant la véritable surface filtrante sur laquelle s'arrêtent les limons que les crues périodiques enlèvent régulièrement, en remaniant la couche supérieure des sables et des galets.

Ce procédé a donné d'assez bons résultats à Toulouse et à Lyon, où l'on a peu d'eau à prendre, où l'on dispose de bancs de gravier d'une épaisseur illimitée; mais il ne saurait s'appliquer avec les mêmes avantages à la dérivation de Marseille.

Le débit du canal de la Durance est trente fois supérieur à celui des machines élévatoires de Lyon. La Durance, en outre, n'a pas de lit régulier et invariable. Les alluvions de ses rives, constamment bouleversées par les crues, n'ont que peu de profondeur; elles ne sont pas composées de graviers purs, comme celles du Rhône ou de la Garonne, mais d'un mélange confus de galets et de vases limoneuses à travers lequel toute filtration un peu considérable a été reconnue impossible.

Les procédés les plus simples de filtration artificielle consistent à reproduire de main d'homme les conditions des filtres naturels. Il ne saurait être très-coûteux de constituer, sur de larges surfaces horizontales, un terrain éminemment perméable, composé d'une couche de pierres cassées recouvertes de sables, reposant sur un sous-sol imperméable et pourvu d'un puissant réseau de tuyaux de drainage; — à la condition de disposer d'une chute de 1^m à 2^m, on pourra toujours, sur un pareil filtre, arriver à clarifier aisément de très-grandes quantités d'eau.

Si de plus on s'est ménagé, dans la construction, la

possibilité de renverser le sens du courant de l'eau, en la faisant pénétrer par les conduites de drainage, pour ressortir à la surface, il sera facile,—avec l'aide pourtant de quelques agents mécaniques draguant légèrement le sable, —de nettoyer assez promptement le filtre. Ce procédé convenablement appliqué peut fournir un débit journalier de 5 à 6 mètres cubes d'eau limpide en vingt-quatre heures, par mètre carré de filtre. Mais la condition essentielle de succès est que les eaux à clarifier ne soient que très-faiblement chargées de matières, pour que le nettoiement des filtres n'ait pas besoin d'être trop fréquemment répété. Si l'on avait affaire, par exemple, à des eaux contenant 4 à 5 p. % de vase, elles devraient produire à la surface du filtre un dépôt de $0^m,20$ à $0^m,30$ en vingt-quatre heures; dix fois plus qu'il n'en faudrait certainement pour engorger le filtre et le rendre impropre à tout usage.

Un filtre artificiel a déjà été établi à Marseille, au-dessous de la promenade de Longchamps. Bien qu'il ait coûté fort cher, sa surface est très-insuffisante; après quelques années de fonctionnement incomplet, il a dû être forcément abandonné. On ne pouvait l'utiliser, en effet, que dans le cas où les eaux de la Durance étaient relativement limpides; les eaux troubles le mettaient hors de service en quelques heures.

Les procédés de filtration artificielle ne pourraient donc s'appliquer en grand aux eaux de la Durance, qu'à la condition qu'elles seraient presque claires ou tout au moins débarrassées de la plus grande partie des limons charriés en temps de crue. Si la proportion de vase, qui est aujourd'hui parfois de 0,04, était réduite à un maximum de 0,0005, le dépôt à la surface du filtre ne dépasserait pas $0^m,0025$ en vingt-quatre heures, $0^m,017$ en sept jours; et un net-

toiement hebdomadaire suffirait à assurer la continuité du service. On est ainsi naturellement conduit à se proposer d'obtenir de prime abord, non des eaux parfaitement limpides, mais des eaux louches débarrassées de 98 à 99 p. % de leurs limons au moment des crues les plus chargées.

Le procédé de décantation par repos des eaux dans une série de bassins successifs, paraîtrait devoir amener aisément à ce résultat. Des expériences nombreuses ont démontré qu'il suffisait de sept à huit heures de repos absolu pour amener la précipitation de toutes les matières terreuses tenues en suspension par les eaux de la Durance, bien qu'il faille de deux à trois jours pour leur enlever toute coloration et leur donner une transparence parfaite.

Toute la difficulté de l'opération consiste à se débarrasser aisément des limons déposés dans les bassins. Si la précipitation était complète, le cube annuel dépasserait 300 000^{m} pour la dérivation de Marseille. On ne saurait songer à enlever à bras d'homme une telle masse de dépôts, et l'idée s'est naturellement présentée de recourir, pour effectuer ce travail, à la force mécanique des eaux elles-mêmes, au moyen de chasses alimentées par le canal.

Des expériences pratiques ont donné à cet égard des résultats encourageants. En ouvrant successivement des vannes très-rapprochées, établies dans la paroi d'un canal de ceinture faisant le tour du petit bassin de Ponserot, à peu de distance de la prise, M. Pascalis, directeur du canal, a reconnu qu'on pouvait assez facilement, dans l'intervalle des crues, débarrasser la cuvette de ce réservoir des limons qui s'y étaient accumulés. Le nettoyage n'exigeait que 6 à 800 litres par seconde, et durait quinze à vingt jours. Répété plusieurs fois dans l'année, il permettait de retenir et de rejeter à la Durance, dans laquelle débouche la bonde de

vidange du bassin de Ponserot, 40 p. % environ des troubles charriés par le canal.

Fort de ce premier résultat, M. Pascalis proposa d'établir ou de mettre en état, sur le parcours du canal, deux réservoirs d'une plus grande étendue. Le premier, celui de Saint-Christophe, à construire entièrement à neuf, avec une capacité égale à celle du produit du canal en 36 heures, suffirait à déterminer la précipitation de tous les limons. Le second, celui de Réaltort, depuis longtemps en exécution, d'une capacité trois fois plus grande, recevrait les eaux simplement louches et colorées, et les rendrait au canal complètement limpides.

Le point essentiel pour la réussite du projet de M. Pascalis était de pouvoir nettoyer assez promptement le réservoir de Saint-Christophe. A raison de la plus grande étendue du bassin, de la moindre inclinaison de ses revers, les chasses directes n'agiraient plus avec autant de succès qu'au bassin de Ponserot. Les eaux de ces chasses, disséminées sur de trop grandes surfaces, ne conserveraient plus la force nécessaire pour délayer les limons et les entraîner dans les bondes de vidange. M. Pascalis espérait remédier à cet inconvénient, en divisant toute la surface du bassin de Saint-Christophe en une série de rigoles muraillées, dans lesquelles on concentrerait successivement l'action des chasses, et que l'on nettoierait l'une après l'autre. Le projet ainsi amendé était encore, de tous ceux qui avaient été présentés, le plus acceptable. L'Administration municipale penchait à l'approuver, non sans quelque appréhension cependant, quant à son efficacité. Si le réservoir de Ponserot, qui dans sa partie entretenue n'a que 100 000m de capacité, exige quinze jours pour son nettoiement, on devait naturellement redouter qu'il ne fallût des mois entiers pour

effectuer la même opération sur un bassin quinze fois plus grand.

C'est dans ces conditions qu'ayant eu à étudier le canal de Marseille au point de vue du transport des troubles, nous avons été amené à nous demander s'il ne serait pas possible de substituer aux chasses intermittentes une chasse permanente et régulière, qui entrainerait les limons au fur et à mesure de leur dépôt.

Nous avons songé à utiliser à cet effet l'emploi des bondes de fond, déjà proposées dans notre projet du canal des Landes (LXXXI), non pour épurer des eaux chargées de limons, mais pour les débarrasser des matières les plus lourdes, des sables et des graviers.

Notre idée première consistait à amener dans le réservoir de décantation une quantité d'eau notablement supérieure à celle que l'on veut dériver réellement, et à laisser à mesure écouler l'excédant par une bonde de fond, toujours ouverte à l'aplomb du déversoir d'entrée des eaux.

Le principe de l'opération était des plus simples : il reposait sur le fait d'observation de la forme affectée par les dépôts de limons qui se produisent dans les eaux en repos d'un grand réservoir recevant toujours en un même point un affluent d'eau bourbeuse. Cette forme est celle d'un cône aux talus aplatis, ayant son sommet à l'aplomb du point de déversement, qui de proche en proche et par couches successives finit par combler le réservoir. Si nous maintenons une bonde de fond constamment ouverte à l'aplomb même du sommet de ce cône, il est bien évident que les eaux qui s'écouleront par cette issue entraineront avec elles la presque totalité des limons. Le cône des dépôts, incessamment miné par son sommet, ne pourra prendre naissance, à plus forte raison se développer.

Cette conception purement théorique ne résoudrait que fort incomplètement la difficulté. Il ne suffit pas d'évacuer hors du réservoir les limons qui se déposeront à l'aplomb du déversoir d'introduction ; il faut, avant tout, faciliter le dépôt de ces limons, qui est loin d'être instantané ; qui, comme nous l'avons dit, ne se produit qu'après plusieurs heures d'un repos absolu. Or, l'eau qui traverse un réservoir, dans les conditions ordinaires, est loin d'être en état de repos complet : il se produit à la surface, entre les orifices d'entrée et ceux de sortie, un courant très-sensible qui maintient en suspension et entraîne avec lui une grande partie des limons, ainsi qu'on pouvait naguère le constater au bassin de Ponserot.

Les meilleurs moyens à employer pour éteindre toute vitesse dans le bassin et accélérer le dépôt des limons, paraissent être de faire arriver les eaux, non à la surface, mais au fond du bassin, et de les recueillir à la sortie par une série de déversoirs superficiels échelonnés sur la paroi d'un canal de ceinture faisant le tour du réservoir.

Dans ces conditions, le dépôt sera beaucoup plus complet ; mais au lieu de se produire en un seul cône, il se répartira sur toute la surface du fond du bassin, en quantité décroissante toutefois à partir du débouché de la galerie d'introduction. Une bonde de fond ouverte au voisinage de ce point central attirerait sans doute à elle une partie notable des limons, mais les dépôts ne s'en produiraient pas moins au-delà, et la bonde de vidange s'encaisserait au fond d'un entonnoir de limons, dont les talus iraient en s'élevant indéfiniment jusqu'à la surface du bassin décanteur.

Théoriquement, notre idée se compléterait en admettant qu'on établirait sur toute la surface plane occupant le fond du réservoir, non plus une seule bonde, mais une série de

bondes ouvrant sur une ou plusieurs conduites de vidange, dont le débit serait calculé pour évacuer d'une manière constante une fraction déterminée du débit de la dérivation. Chacune de ces bondes deviendrait peu à peu le centre d'un entonnoir de limons dont la hauteur serait limitée par l'espacement des bondes et par l'inclinaison normale que prennent les talus des limons. Cette inclinaison paraît être de 3 de base pour 1 de hauteur[1]. Si nous supposons les bondes espacées à 30^{m},00 au plus l'une de l'autre dans tous les sens, la plus grande hauteur des talus des entonnoirs ne saurait dépasser 5^{m}. Une fois arrivés à ce point, les dépôts auraient atteint leur maximum ; les nouveaux troubles précipités, glissant sur les talus déjà formés, se rendraient au débouché de la bonde la plus voisine.

On ne saurait d'ailleurs objecter contre cette généralisation du principe des bondes de fond, la crainte de voir des orifices très-multipliés exposés à être obstrués à raison de leurs faibles dimensions.

Dans les expériences en petit de nos procédés, nous avons constaté, en effet, que des bondes de fond, n'ayant pas plus d'un demi-millimètre de diamètre, pouvaient fonctionner pendant plusieurs jours sans jamais s'obstruer sous une charge de 0^{m},80, avec des eaux très-chargées de limons. A dimensions égales, la plus grande hauteur de charge des réservoirs du canal serait une garantie de plus pour le fonctionnement des bondes ; à plus forte raison pourra-t-on être sans inquiétude si l'on considère que les

[1] Nous devons à M. Gouin des profils très-exacts des dépôts formés dans le réservoir de la gare de Marseille, dont la capacité est de 4000^{m}. La plus grande inclinaison dans le sens de l'axe du canal d'amenée a été trouvée de 9^{m},80 de base pour 3^{m},50 de hauteur, soit bien près de 3 pour 1. Latéralement, la pente était bien plus faible encore.

bondes les plus petites, dans l'application définitive, auront toujours plusieurs centimètres de diamètre, seront des milliers de fois plus grandes que celles de l'appareil d'essai.

Si la bonde ne peut être obstruée directement par l'accumulation des limons auxquels elle donne issue, elle ne saurait l'être davantage par l'obstruction provenant d'un corps étranger, d'une pierre qui serait charriée par les eaux du canal, ou tomberait accidentellement dans le bassin. A moins que la chute de la pierre n'ait rigoureusement lieu à l'aplomb même de la bonde, — ce qui est une circonstance trop peu probable pour qu'on ait à en tenir compte, — elle s'enfoncera dans les parois vaseuses du cône de vidange, sans avoir aucune tendance à glisser sur son talus.

CXXXIV.

L'Administration municipale de Marseille a admis la proposition que nous lui avons faite de se servir de notre procédé d'épuration par bondes de fond ; elle a manifesté toutefois le désir que l'opération fût faite au début sur une échelle réduite, en vue d'obtenir, non pas une clarification complète, mais un simple dégrossissement ayant pour but d'éliminer, par un petit nombre de bondes, les dépôts les plus lourds et les plus encombrants qui peuvent se produire après un repos d'une heure ou deux. Nous avons d'autant mieux admis ce programme restreint, que nous avions toujours pensé que la clarification des eaux de la Durance devrait se faire, non en une seule fois, mais par une série d'opérations successives.

C'est dans ces conditions que nous avons étudié un projet définitif, à l'effet de faire servir à l'usage de bassin dégrossisseur le réservoir de Ponserot, dont la capacité n'est

que de 130 000 mètres cubes. Mettant à profit la forme allongée de ce bassin, qui s'éloigne trop du cône théorique sur les parois duquel doivent s'écouler les limons, nous avons proposé de le partager en deux bassins distincts par un mur ou barrage divisoire.

Les eaux du canal actuel seront amenées par une galerie plongeante au fond du bassin d'amont, sur le thalweg duquel sera disposée une première ligne de bondes de vidange espacées à 15ᵐ l'une de l'autre. L'excédant des eaux remontant à la surface après cette première épuration, pénétrera dans le second bassin, non plus par une simple galerie, mais en traversant de haut en bas, sur toute sa longueur, le mur divisoire, qui sera formé de deux parois verticales distantes de 2ᵐ et reliées l'une à l'autre par des contreforts et des arcs-boutants.

Cette nouvelle disposition aura surtout l'avantage d'atténuer beaucoup plus que ne pourrait le faire une simple galerie, la vitesse d'arrivée des eaux, qui, en vertu de l'impulsion acquise, tendent toujours à s'élever en gerbe à la surface du bassin, au lieu d'en déplacer les tranches successives par un simple refoulement. S'écoulant dans le second bassin par de larges orifices qui ne présenteront pas moins de 50 mètres carrés de section, ces eaux, déjà en partie épurées dans la première retenue, n'auront plus qu'une faible tendance à regagner la surface ; elles ne pourront plus entraîner les limons dont elles seront encore chargées, et produiront un nouveau dépôt qui sera aspiré à mesure par une seconde série de bondes de fond. Toutes les bondes seront placées sur une même conduite de diamètre décroissant, posée en prolongement du tuyau de vidange de 0ᵐ,60 qui existe déjà sous le barrage. Les diamètres ont été calculés de manière à pouvoir débiter ensemble 1 400 litres par seconde,

soit 1 000 pour le bassin d'amont et 400 pour celui d'aval. L'expérience indiquera d'ailleurs les meilleures dimensions qu'on pourra finalement donner à l'orifice de ces bondes, si leur débit devait être modifié.

Après cette double épuration, les eaux restantes rentreront dans le canal d'amenée par une série de petits déversoirs qui existent déjà dans ses parois. Nous nous sommes efforcé en effet, dans notre projet, d'utiliser tous les ouvrages actuels, ce qui nous a permis de réduire à 40 000f le montant de notre estimation.

Le bassin de Ponserot, aménagé d'après notre projet, ne sera pas, comme quelques personnes pourraient le croire, un travail d'essai, mais une œuvre définitive ayant un but déterminé. Suivant l'expression de M. l'ingénieur en chef Pascal, il constituera avant tout un *bassin dégrossisseur*, qui ne fournira pas encore des eaux parfaitement limpides, mais qui, rejetant à la Durance la majeure partie des matières boueuses charriées en temps de crue, fera disparaître à tout jamais les plus graves inconvénients de la situation actuelle.

La population appréciera sans doute ce résultat immédiat, qui la mettra pour toujours à l'abri de l'irruption de torrents de boue qui, survenant à la suite de chaque orage, encombrent les bassins, engorgent les filtres, obstruent les conduites, salissent et déshonorent les promenades publiques. Mais si grand que soit ce premier résultat, l'Administration municipale ne s'aurait s'en contenter. Elle n'y verra, nous l'espérons, qu'un encouragement à mener à bonne fin une entreprise qui, jusqu'à ce jour, était considérée comme à peu près impossible, qui deviendra des plus aisées avec le fonctionnement du bassin de Ponserot.

Pour tous ceux qui se sont occupés de la question, en

effet, la difficulté était moins d'amener la séparation des matières terreuses tenues en suspension dans les eaux de la Durance, que de se débarrasser, à peu de frais et d'une manière continue, du volume énorme des dépôts qui se seraient produits, soit dans les bassins de décantation, soit à la surface des filtres. Le principe des bondes de fond nous paraît aplanir cette difficulté dans les conditions les plus satisfaisantes. Le reste, au point de vue pratique, n'est plus qu'une question de détail.

Plusieurs dispositions pourraient être adoptées pour la résoudre entièrement. Nous ne croyons pas prématuré de notre part d'exposer en peu de mots celles qui nous paraîtraient les plus simples, et dont nous espérons faire accepter le programme, dès que le succès prochain d'une première entreprise aura donné à nos idées sur ce sujet la consécration et l'autorité qui leur manquent encore.

Les eaux qui sortiront du bassin de Ponserot, pendant les temps de crue, seront laiteuses, — faiblement chargées de matières limoneuses, dont la proportion sera toujours inférieure à un certain maximum que nous ne saurions préciser à l'avance, qui, si nous devons nous en rapporter à des expériences faites en petit[1], paraîtrait devoir varier de 0,0003 à 0,0004. On ne saurait sans doute rigoureusement comparer les résultats de l'expérience à ceux de l'application en grand ; mais il serait bien difficile de dire si la différence devra être en plus ou en moins. Admettant

[1] Nous avons installé l'automne dernier, dans une des cours de la mairie de Marseille, un petit appareil d'essai reproduisant à $\frac{1}{500,000}$, comme capacité et débit, les dispositions générales du bassin de Ponserot. Quelque boueuses que fussent les eaux à leur arrivée, leur état était toujours à peu près le même à leur sortie. Un dosage fait avec soin par M. Richaud, pharmacien à Marseille, lui a donné les résultats

comme très-probable cette base d'évaluation, on a tout lieu d'espérer, en se reportant à l'année moyenne, que le cube des limons rejetés à la Durance atteindra 80 à 85 p. °/₀ de leur volume total. Au lieu de 300 000 mètres cubes que charrie le canal à la prise, il n'en portera probablement pas plus de 50 à 55 000^{m} au-delà du bassin de Ponserot.

L'idée la plus naturelle qui puisse se présenter, celle à laquelle nous avions songé dès le début, serait de recourir encore au procédé de la décantation pour achever de clarifier les eaux.

Nous avons déjà parlé du bassin de Réaltort, vaste réservoir dont des accidents imprévus ont retardé la mise en état de service, mais qu'il paraît possible de terminer avec une nouvelle dépense de 4 à 500 000^{f}.

Ce bassin aura une capacité de 4 500 000 mètres cubes. Il correspondra à une retenue d'eau de cinq à six jours,

suivants pour le 18 septembre 1867, jour pris au hasard dans une période d'eaux moyennement troubles :

Proportion de limons à l'entrée de l'appareil..........	0,00420
— — à la sortie de l'appareil.........	0,00037
— — aux bondes de vidange (moyenne).	0,01640

La proportion de limons évacués était ce jour-là de 91 p. °/₀, et nous avons tout lieu de croire que si l'expérience avait pu être faite avec les eaux les plus chargées de limons, — en contenant, d'après M. Pascalis, 0,02 à l'état sec, soit environ 0,03 en poids, — le résultat aurait été le même à la sortie, ce qui correspondrait à une évacuation de près de 99 p. °/₀.

En revanche, il est vrai, toutes les fois que les eaux seront naturellement chargées à moins de 0,00037, le résultat de la décantation sera très-faible. Cette circonstance est la plus fréquente ; mais la durée à laquelle elle correspond ne compte que pour peu de chose dans l'apport annuel des limons. Le canal, en effet, charrie plus de vases en vingt-quatre heures d'eaux très-troubles qu'en six mois d'eaux simplement louches.

délai qui serait plus que suffisant pour amener la précipitation absolue de toutes les matières minérales contenues dans les eaux de la Durance.

Si le bassin de Réaltort devait recevoir ces eaux dans leur état naturel ; — avec la perspective d'avoir à emmagasiner tous les ans 3 à 400 000 mètres cubes de limons, — il ne pourrait fonctionner convenablement plus de cinq ou six ans; il serait entièrement comblé avant dix. Mais si la quantité de limon introduite était réduite des 8/10, par l'épuration préalable obtenue au bassin de Ponserot, le fonctionnement de celui de Réaltort serait garanti pour près d'un demi-siècle, durée que la ville de Marseille pourrait peut-être trouver suffisante pour n'avoir pas à se préoccuper de ce qu'on ferait au-delà.

A la rigueur même, en plaçant dans le bassin de Réaltort, au débouché de la galerie d'introduction des eaux, un certain nombre de bondes de fond d'un très-petit diamètre, débitant ensemble 100 ou 150 litres par seconde, on pourrait espérer maintenir le réservoir à tout jamais propre et libre de dépôts, sans que les générations à venir eussent plus que la nôtre à s'inquiéter davantage de cette affaire.

Cette solution, subordonnée à l'achèvement préalable du bassin de Réaltort, ne saurait toutefois, après mûre réflexion, nous satisfaire complètement. Nous craindrions qu'elle n'eût pas en tout temps un succès complet. L'expérience a bien prouvé qu'un repos de quatre à cinq jours suffit pour clarifier entièrement les eaux de la Durance. En disposant convenablement la galerie d'introduction, lui adjoignant au besoin un barrage analogue à celui de Ponserot, on pourrait sans doute arriver à éteindre toute trace de courant appréciable dans le bassin de Réaltort, à se rapprocher sensiblement d'un état de stagnation absolue des

eaux ; mais ce qu'on ne saurait éviter, ce serait l'action du vent, le clapotement des vagues sur les parois du bassin, qui soulèveraient les dépôts des vases les plus ténues et les mélangeraient aux eaux de sortie.

La quantité de limon ainsi remise en suspension serait inappréciable en poids; elle n'en suffirait pas moins pour altérer la transparence de l'eau. Pareil fait s'observe sur les rivières qui traversent de grands lacs naturels, en Suisse ou en Italie. Dans les temps calmes, les eaux troubles des affluents supérieurs se clarifient assez promptement après leur arrivée dans le lac ; mais quand le vent souffle avec violence, sa surface est agitée, et les eaux de sortie deviennent toujours plus ou moins opalines.

Sans repousser systématiquement l'utile concours que le bassin de Réaltort pourrait fournir à l'œuvre de la clarification des eaux de Marseille, nous ne voudrions pas faire de son achèvement une condition indispensable de notre projet. Pour arriver vite et sûrement au but, nous préférerions demander à un bassin existant et moins étendu le complément que pourra fournir encore le procédé de la décantation, et compléter l'œuvre par un filtrage artificiel.

Le bassin dont nous compterions nous servir est celui de la Garenne, dont la surface est de 47 000 mètres carrés et la capacité de 350 000 mètres cubes, trois fois plus grande que celle de Ponserot. Le bassin de la Garenne est pour le moment hors de service, à demi rempli de limons. Son nettoiement ne saurait offrir de difficultés sérieuses. L'expérience faite à Ponserot nous a démontré que,—en employant simultanément l'action des chasses alimentées par une rigole de ceinture ouverte à la surface des limons sur le pourtour du bassin, et la force de puissants jets d'eau fonctionnant à la base des dépôts, sous la charge du canal

lui-même, — nous pourrons en peu de mois délayer et rejeter dans l'Arc les limons du bassin de la Garenne, avec une dépense qui n'ira probablement pas à plus de 8 ou 10 000ᶠ.

Les dispositions naturelles des lieux, les travaux déjà exécutés, faciliteront beaucoup l'aménagement définitif à donner au bassin de la Garenne. Un canal d'introduction, tenant le milieu entre le barrage divisoire et la galerie de fond du bassin de Ponserot, dont la dépense sera de 12 à 15 000ᶠ au plus, permettra de distribuer les eaux du canal au centre de la retenue, par de larges ouvertures de fond annihilant toute vitesse. La stagnation sera à peu près absolue, et la précipitation des limons échappés au bassin de Ponserot aussi complète que possible.

Une série de bondes de vidange implantées sur une conduite de fonte longitudinale, avec une perte d'eau de 100 à 150 litres par seconde, suffiront pour rejeter au dehors les eaux vaseuses de fond, et empêcher le retour de tout dépôt stable dans le bassin de la Garenne.

Les eaux, rentrant dans le canal après cette seconde épuration, seront à peine louches en temps de crue, ou contiendront tout au plus un ou deux dix-millièmes des matières vaseuses les plus légères.

Une nouvelle décantation ne saurait les améliorer d'une manière sensible. La majeure partie pourra être directement livrée, en l'état, au service de la banlieue. Il n'y aura plus à s'occuper que des eaux nécessaires aux besoins de la distribution intérieure, qui sont amenées par la branche de Longchamps. Leur débit n'est jamais supérieur à 2 500 litres par seconde, et leur clarification absolue devra être demandée au filtrage.

La ville de Marseille possède déjà un filtre artificiel d'une

grande importance, vaste réservoir à deux rangs de voûtes, construit à grands frais sous la terrasse de la promenade de Longchamps. Ce filtre a une superficie de 9 000 mètres carrés. A la condition de ne recevoir que des eaux déjà épurées, il peut en clarifier 500 litres par seconde, environ 40 000 mètres cubes en vingt-quatre heures, le cinquième seulement du débit de la branche alimentaire.

Quintupler sur place et dans ses conditions actuelles le filtre de Longchamps, serait chose impossible ou tout au moins énormément coûteuse. Aux frais de construction viendraient en effet s'adjoindre ceux de l'achat des terrains, qui dans cette partie de la ville vaudraient au moins 7 à 8 millions.

Un nouveau filtre devra être nécessairement reporté en amont, dans la banlieue de Marseille ; et, dans ces conditions, s'il avait à fonctionner simultanément avec celui de Longchamps, il faudrait construire un second canal pour amener séparément les eaux déjà clarifiées.

Cette considération nous a déterminé à renoncer à nous servir du bassin de Longchamps comme filtre, pour lui rendre exclusivement sa destination principale, qui doit être celle d'un réservoir de régime, réglant la charge des conduites et régularisant le service de la distribution.

En démolissant les voûtes perméables, ou, plus simplement encore, se bornant à enlever les matières filtrantes qui les recouvrent, on obtiendra un réservoir d'une capacité de plus de 50 000 mètres cubes, parfaitement approprié à cet usage.

On devra d'autant moins regretter de renoncer à se servir du bassin de Longchamps comme filtre, qu'il est très-mal disposé à cet effet. Le nettoiement de la masse filtrante par renversement du courant ne peut se faire qu'à

la condition de perdre inutilement 30 000 mètres cubes d'eau renfermés dans la capacité inférieure du réservoir. Le dragage de la surface supérieure du filtre est en outre une opération très-laborieuse, à raison des innombrables piliers des voûtes, sous lesquelles les ouvriers ne peuvent naviguer que difficilement à la clarté confuse des torches.

Une condition essentielle d'un bon filtre artificiel est que sa surface soit librement ouverte au grand jour et accessible dans toutes ses parties. Il n'est d'ailleurs nullement nécessaire que les eaux filtrées soient immédiatement reçues dans de vastes bassins. Des tuyaux de drainage de petit diamètre remplaceront avec grand avantage, comme collecteurs, les voûtes de Longchamps.

Débarrassé de la sujétion de raccorder les nouveaux filtres avec celui de Longchamps, nous avions toute latitude pour choisir leur emplacement, et notre indécision n'a pas été longue à cet égard. La ville de Marseille possède, en effet, un terrain qui peut être approprié à cet usage, dans des conditions inespérées d'économie, de facile construction et de parfait fonctionnement. Nous voulons parler de la surface atterrie du bassin Sainte-Marthe, qui se trouve sur le parcours de la branche de Longchamps, à 3 kilomètres environ du réservoir. (*Pl.* V, *fig.* 4.)

La surface de ce bassin, de forme sensiblement rectangulaire, est précisément de 45 000^m, cinq fois la superficie du filtre de Longchamps. Le sol en est d'une horizontalité et d'une imperméabilité complètes. En ce point se trouve enfin une chute disponible de plus de 5^m, entre le bief d'amont du canal qui devra alimenter le filtre, et le bief d'aval qui recevra les eaux clarifiées.

La couche filtrante, d'une épaisseur totale de 1^m,00, se composera de lits successifs de galets ou pierres cassées,

recouverts de sable à la surface. Elle pourrait, à la rigueur, reposer sur le sol actuel formé par les dépôts limoneux de la Durance. Il sera toutefois préférable, pour éviter le ramollissement des vases supérieures, de les revêtir d'une couche de béton résistante et inaffouillable. Les tuyaux recevant les eaux de filtration seront tous en poterie et formeront deux réseaux distincts, de *conduites de drainage* et de *conduites maîtresses*, s'embranchant à angle droit.

Les conduites maîtresses, — d'un diamètre moyen de 0m,30, mais variable suivant la quantité d'eau que le tuyau pourra apporter, — seront enfouies à une faible profondeur dans le sol imperméable.

Les tuyaux seront assemblés à emboîtements, rejointoyés au ciment et solidement assis sur un lit de béton. Ils porteront à leur partie supérieure, — disposées en lignes perpendiculaires espacées de deux en deux mètres, — des tubulures verticales dans lesquelles viendront s'embrancher les conduites de drainage.

La pose des conduites maîtresses achevée, la surface du sol sera dressée régulièrement, de manière à présenter une série d'ondulations parallèles de 2m,00 d'amplitude, dont les arêtes inférieures correspondront aux lignes transversales des tubulures.

Sur le sol ainsi disposé, on étendra le revêtement en une seule couche de 0m,08 d'épaisseur, empâtant le pourtour des tubulures des conduites maîtresses, qui devron seules faire saillie sur la surface du béton.

Les conduites de drainage, disposées transversalement à 2m,00 l'une de l'autre, seront formées de tuyaux de 0m,08 à 0m,10 de diamètre, percés de trous capillaires sur toute leur surface, assemblés à joints ouverts avec des manchons

portant sur les tubulures de la conduite inférieure et assis sur un lit de gros sable.

Les conduites maitresses déboucheront dans deux aqueducs collecteurs en maçonnerie, se réunissant à angle droit vis-à-vis la vanne de rentrée, qui ramènera habituellement les eaux dans le bief inférieur du canal.

Il n'est pas besoin d'explication pour comprendre le fonctionnement de ce filtre, dont le rendement dépendant de la pression, elle-même variable à volonté, pourra, à raison de 5 à 6 mètres cubes d'eau en vingt-quatre heures par mètre carré de surface filtrante, suffire à un débit égal et au besoin supérieur à celui de la dérivation actuelle de Longchamps.

Le nettoiement de ce filtre sera d'ailleurs des plus faciles. Un simple jeu de vannes permettra de faire pénétrer les eaux du bief supérieur dans l'aqueduc collecteur, d'où elles reflueront, par le réseau des conduites, à la surface du filtre. L'opération s'achèvera par un léger dragage remaniant la couche supérieure du sable, dans laquelle l'expérience a appris que les limons ne pénétraient jamais à plus de $0^m,02$ à $0^m,03$ de profondeur.

Le dragage superficiel était fait au bassin de Longchamps par une escouade d'ouvriers montés dans des batelets, remuant la surface vaseuse avec des balais dont ils se servaient en guise de rames.

Ce travail était assez long : il exigeait une douzaine d'hommes pendant huit à douze heures pour le nettoiement alternatif des deux moitiés du filtre, représentant chacune une superficie de 4 500 mètres carrés.

On irait naturellement beaucoup plus vite sur le filtre de Sainte-Marthe, où les ouvriers manœuvreraient à découvert. Mais le dragage serait bien autrement activé

si l'on utilisait la force mécanique des eaux versantes ayant servi au lavage du filtre. Il suffirait de recevoir une partie de ces eaux sur une petite roue hydraulique qui mettrait en mouvement deux cylindres sur lesquels pourraient, à volonté, s'enrouler ou se dérouler les deux bouts d'un câble au milieu duquel serait inséré un batelet muni, à l'arrière, d'un large râteau à dents de fer. Un certain nombre de poulies fixes, ménagées sur les parois en regard du réservoir, permettraient de faire parcourir au râteau, par une série de va-et-vient, toute la surface du filtre avec une grande régularité d'action et beaucoup d'économie de temps et d'argent. Quatre ouvriers préposés, l'un à l'embrayage des cylindres, le second à la conduite du batelet, les deux autres à la manœuvre des poulies, suffiraient à diriger l'opération, qui s'achèverait sur toute la surface du filtre en moins de temps qu'il n'en fallait pour nettoyer la moitié de celui de Longchamps.

Dans ces conditions, le chômage complet du filtre, ne devant pas durer plus de huit ou dix heures, serait sans grands inconvénients pour le service. Il va d'ailleurs sans dire qu'à l'exécution rien ne serait plus facile que de diviser la surface totale en deux appareils distincts qui pourraient fonctionner et se nettoyer séparément.

L'exécution totale du filtre de Sainte-Marthe, telle que nous venons de l'exposer, ne coûterait pas plus de 60 000f par hectare de surface filtrante, comprenant :

1 000m gros tuyaux posés sur béton, à 5f,00........	5 000f
5 000m petits tuyaux, à 1f,00....................	5 000
10 000m de revêtement en béton, à 2f,00...........	20 000
10 000m de matière filtrante, sables ou pierrailles, à 3f,00 le mètre cube..........................	30 000
Total par hectare..............	60 000f

et pour 4 hectares et demi........................	270 000
Ajoutant, pour le remaniement des murs de clôture, la construction des aqueducs collecteurs, l'installation des vannes, l'appareil de dragage et dépenses imprévues, — une somme à valoir, largement suffisante, de..........	130 000
on arrivera pour le prix du filtre à un chiffre total de...	400 000 f

Si, contre notre attente, le filtre ainsi disposé se trouvait tôt ou tard insuffisant, rien ne serait plus facile que d'en accroître indéfiniment la surface, en achetant à cet effet, sur la rive gauche du canal, telle quantité de terrain qui serait reconnue nécessaire.

En résumé, l'ensemble des travaux que nous venons d'énumérer assurera la clarification complète des eaux du canal de Marseille et le filtrage plus spécial des eaux de la branche de Longchamps, dans des conditions de succès inespérées, moyennant une dépense totale inférieure au chiffre rond de 500 000 fr., savoir :

1° Aménagement des bondes de fond du bassin dégrossisseur de Ponserot, destinées à absorber et rejeter dans la Durance les matières limoneuses les plus lourdes, en temps de crue........	40 000 f
2° Nettoiement et aménagement du bassin de la Garenne, devant compléter le travail de la décantation, en évacuant d'une manière continue le restant des matières vaseuses, d'une pesanteur appréciable...............	25 000
3° Construction du filtre artificiel de Sainte-Marthe, d'une superficie de 45 000m, devant servir à clarifier et à rendre parfaitement limpides et transparentes, en tout temps, les eaux de la dérivation de Longchamps.......	400 000
TOTAL GÉNÉRAL................	465 000

De ces trois entreprises, celle de l'aménagement du bassin de Ponserot est seule approuvée et en cours d'exécution.

Le fonctionnement prochain de cet ouvrage ne laissera aucun doute sur son efficacité, et nous espérons que ce premier succès déterminera l'Administration municipale à adopter le restant du Programme que nous avons eu l'honneur de lui soumettre.

CXXXV.

La clarification des eaux de Marseille n'a sans doute qu'un rapport bien éloigné avec le but essentiel de cet ouvrage ; nous avons cru cependant devoir nous appesantir avec quelques détails sur cette entreprise. Elle a été pour nous une occasion de faire une première application de nos idées théoriques, en même temps que d'essayer les procédés pratiques de désagrégation et de transport des matières minérales dont nous avions recommandé l'emploi. Elle nous a permis enfin de procéder à une série d'expériences qui, si elles n'ont pas complétement résolu toutes les questions que soulève l'hydraulique des eaux troubles, ont du moins fixé des limites positives aux incertitudes que peut comporter encore cette branche si peu étudiée et si peu connue des sciences physiques.

Les travaux que nous avons à faire pour l'aménagement du bassin de Ponserot, travaux dont la rigueur de la saison vient malheureusement d'interrompre le cours au moment ou nous écrivons ces lignes (15 décembre 1867), doivent comprendre : une galerie d'introduction et un barrage divisoire, destinés à rapprocher autant que possible de l'état de repos absolu les eaux reçues dans ce réservoir ; et la pose d'une conduite de fond portant les bondes de vidange qui devront aspirer et rejeter à la Durance la majeure partie des limons aujourd'hui charriés par le canal de Marseille.

Le fonctionnement de ces bondes de vidange sera d'autant plus efficace que leurs cônes d'action auront plus de hauteur, qu'elles seront par suite placées à une plus grande profondeur au-dessous du niveau normal des eaux dormantes.

Nous avions donc intérêt à opérer sur un bassin parfaitement nettoyé à vif, jusqu'au fond de roche formé par la rencontre des parois latérales encaissant le ravin.

Sous le rapport de son nettoiement, le réservoir de Ponserot laissait beaucoup à désirer; il a été obtenu par le barrage d'une gorge étroite et allongée qu'un étranglement naturel divise en deux cuvettes d'inégale importance. Celle d'aval, d'une capacité de 90 000^{m} environ, était depuis plusieurs années déjà entretenue à peu près libre de tout dépot de vases par le jeu périodique de vannes de décharge très-rapprochées, installées sur deux rigoles latérales qu'alimentent les eaux du canal principal.

La cuvette d'amont, au contraire, laissée en dehors de l'action des chasses, était en grande partie occupée par un amas de limons stratifiés présentant un cube de 15 à 20 000^{m} sur une hauteur de 6 à 7^{m}.

Indépendamment de ces limons, dont le dépôt remontait aux premiers temps de la dérivation, le bassin était obstrué sur divers points par des monceaux de pierres roulantes d'origine diverse, provenant, soit des terrains meubles de la cuvette primitive lavés par les chasses, soit de l'éboulement des talus supérieurs du ravin, soit enfin des déblais considérables qui avaient été faits pour l'établissement des rigoles de vidange, déblais que nous-même avons eu occasion d'augmenter d'un millier de mètres cubes, pour asseoir les fondations de nos nouvelles maçonneries.

Nous avions avant tout à nous occuper de faire disparaître

ces dépôts de toute nature. Nous pensâmes naturellement à attaquer les vases supérieures à la lance, au moyen de jets d'eau alimentés par une conduite provisoire en fonte, prenant sa charge dans une des rigoles latérales.

La question était plus embarrassante pour les pierres, dont le cube s'élevait à 5 ou 6 000^{m}. Les sortir du bassin en leur faisant gravir, sur une hauteur de 15 à 20^{m}, un revers escarpé de roches glissantes, sur lequel n'existent ni chemins ni sentiers praticables, était une opération qui, si elle n'était pas impossible, paraissait devoir être très-coûteuse. L'entrepreneur ne nous demandait pas moins de 5^{f} par mètre cube pour se charger de cette extraction.

En dehors de ce moyen, nous ne pouvions songer à évacuer les matières pierreuses autrement que par la conduite de vidange formée par un tuyau de fonte de 70^{m} de long sur 0^{m},60 de diamètre, traversant le barrage du bassin à une profondeur de 20^{m},00 au-dessous du niveau du canal. Nous avions bien reconnu que les eaux de chasse, chargées de vase pendant le nettoiement du bassin, entraînaient avec elles quelques débris de pierrailles qui franchissaient toute la conduite sans s'arrêter dans son parcours. Nous hésitions de prime abord à généraliser ce procédé d'entraînement. Nous ne tardâmes pourtant pas à nous assurer que les pierres déposées à l'orifice d'amont de la conduite de vidange étaient entraînées avec une grande rapidité dans cette conduite, et retombaient à l'aval du barrage, où existent de profonds affouillements creusés par les eaux. L'amoncellement des débris minéraux en ce point avait d'autant moins d'inconvénients que, en faisant fonctionner au besoin une vanne de vidange du canal, on pouvait opérer une chasse assez énergique pour les refouler au-delà, et les rejeter dans la Durance qui coule à 100^{m} plus bas.

Nous essayâmes en conséquence, en forçant la puissance des chasses intérieures sur les principaux amas de pierrailles, d'en déterminer l'entraînement vers l'orifice du tuyau de vidange, qui paraissait pouvoir leur faire franchir le barrage inférieur sans danger. Ce travail réussit assez bien dans les parties supérieures du bassin, en amont du mur divisoire. Le lit du ravin étant très-étroit, sa pente très-forte, la vitesse du courant, aidée par l'action des grapins, était à la rigueur suffisante pour entraîner les pierres; mais il n'en était plus de même à l'aval du mur divisoire. Vainement on s'efforça, pour concentrer le courant, d'ouvrir dans les dépôts une rigole se dirigeant en droite ligne vers la conduite de vidange : elle était presque immédiatement comblée par les dépôts de pierres qui s'amoncelaient en une large nappe. Nous n'obtînmes en fait, avec beaucoup de travail, qu'un simple déplacement, ramenant dans la cuvette inférieure les débris minéraux entraînés de la partie haute du bassin.

L'idée nous vint alors d'établir entre le mur divisoire et la conduite de vidange, sur une longueur de 60^{m}, un petit chenal en bois de $0^{m},60$ de largeur sur $0^{m},25$ de profondeur seulement, dont le fond était formé de deux plateaux cloués sur quelques traverses, les parois de deux planches posées de champ et fixées sur des piquets.

Nous nous flattions tout au plus de l'espoir d'entraîner par ce moyen les pierres de petites dimensions; nous nous proposions, comme pis aller, de séparer les plus grosses et de les faire casser à la main aux dimensions nécessaires, pour en déterminer le transport, ce qui nous serait toujours revenu infiniment meilleur marché que tout autre procédé d'extraction.

Le résultat dépassa de beaucoup nos espérances à ce

sujet. Les pierres de toute dimension ont été entraînées avec la plus grande facilité, soit dans le canal en bois, soit dans la conduite qui lui fait suite, sans que nous ayons jamais eu besoin d'en casser aucune, sans qu'une seule obstruction se soit produite en aucun point du parcours. Cet appareil a fonctionné avec la plus grande régularité pendant plus de trois semaines, entrainant et rejetant en aval du barrage toutes les pierres qui y arrivaient naturellement par le fait des chasses supérieures, ou qui y étaient projetées directement par une escouade de huit à dix ouvriers attaquant à la pioche les amas les plus voisins.

En même temps que nous nous débarrassions des matières pierreuses par voie d'entraînement, à travers la conduite de vidange, nous nous occupâmes d'installer un chantier pour l'abattage à la lance des limons accumulés dans les parties hautes du réservoir; mais nous avions eu à peine le temps de faire à cet égard quelques essais qui ne nous avaient encore donné que des résultats peu satisfaisants, lorsque la rigueur de la saison nous contraignit à licencier le chantier.

Des tuyaux d'un diamètre convenable nous avaient manqué au début pour établir la conduite alimentaire ; plus tard nous eûmes à faire l'apprentissage d'ouvriers inexpérimentés, montrant une répugnance bien naturelle pour un travail qui les exposait à tout moment à être inondés par des jets d'eau glacée. La pression sous laquelle fonctionnaient les conduites était en outre assez faible, car elle ne dépassait pas 6^m. La grande ténacité des matières à désagréger a été enfin une cause de difficultés particulières, très-supérieures sans doute à celles qu'aurait offertes un terrain plus résistant en apparence, mais d'une constitution moins limoneuse.

On se rendra compte de ces difficultés spéciales en se rappelant ce que nous avons dit (XXIII) de la résistance théorique des matières vaseuses, qui, résultant d'un effet de pression, est très-faible à la surface supérieure d'un dépôt, très-considérable au contraire sur ses talus latéraux.

Un jet dirigé normalement sur la tranche verticale d'un éboulement, a peu d'action sur sa surface et ne produit qu'un trou cylindrique, dans lequel l'eau, formant en quelque sorte matelas, réagit sur elle-même et ne tarde pas à rejaillir au dehors sans agrandir notablement la cavité première. Pour opérer une sape, il faut donc disposer d'une lance très-mobile dont on puisse faire varier aisément le point d'attaque. L'effet de dislocation produit par les jets d'eau ne se borne pourtant pas à l'ouverture de trous plus ou moins rapprochés ; il se continue dans la masse, mais horizontalement, en se faisant jour à travers les couches superposées du limon qui se divisent en épaisses assises, ayant plutôt une tendance à glisser qu'à s'effondrer sur place. Les abattages, dans ces conditions, ne se produisent pas par de petits éboulements successifs, mais par grandes masses dont le déchirement a lieu parfois bien en arrière de l'extrémité des trous de sape. Nous avons vu se détacher ainsi d'un seul bloc des massifs de limons ayant plus de 200 mètres cubes, dont le glissement n'était pas sans danger, sinon pour les hommes, qui peuvent aisément se mettre à l'abri de leur atteinte, du moins pour les tuyaux de fonte, dont plusieurs ont été brisés.

L'éboulement obtenu avec plus ou moins de peine, le jet d'eau n'a encore que peu d'action pour le délayer. Une motte limoneuse projetée dans un courant d'eau assez puissant pour l'entraîner, est presque immédiatement dissoute par les frottements de surface qu'elle éprouve ; soumise au

contraire au choc direct d'un jet d'eau puissant, elle s'agrège et s'agglutine en quelque sorte par l'effet de la pression, et résiste pendant fort longtemps.

Il n'est donc pas étonnant que pendant le peu de jours où nous avons pu faire fonctionner nos jets d'eau, par un froid rigoureux, nous n'ayons obtenu qu'un très-faible rendement comme effet utile. Nous n'en avons pas moins lieu d'espérer que, du moment où nous pourrons nous en servir dans de meilleures conditions, avec un personnel exercé, ils ne soient d'un grand secours pour faciliter la désagrégation et l'entraînement des limons qui occupent encore une partie de la capacité du bassin de Ponserot et la totalité de la cuvette de la Garenne.

Nous avons mis à profit le peu de jours pendant lesquels a fonctionné notre chantier de déblai, pour procéder à quelques expériences destinées à nous fournir enfin des données précises sur les conditions si peu connues dans lesquelles s'opère l'écoulement des eaux troubles.

Le canal en bois qui nous servait à l'entraînement des pierres, excellent pour le travail pratique auquel il était affecté, laissait malheureusement beaucoup à désirer comme appareil d'expérience. Établi très à la hâte, sans grande préparation préalable du sol, il avait des dimensions inégales. Nous avons pu toutefois choisir sur son parcours une longueur de 40^{m}, sensiblement régulière comme pente et comme section, sur laquelle ont porté nos observations. Ces observations ont eu surtout pour but de constater l'influence que le mélange d'une certaine quantité de limon délayé dans un courant pouvait apporter dans ses conditions de régime.

Le canal en bois établi dans la partie inférieure du bassin était alimenté par les pertes des nombreuses vannes

existant dans les deux rigoles de ceinture, et par les eaux de lavage, dont on pouvait à volonté faire varier le volume. Le débit total une fois établi dans des conditions données, maintenues les mêmes pendant un temps suffisant pour la durée d'une expérience, nous observions avec tout le soin possible la vitesse à la surface et la section moyenne du courant sur toute la longueur du canal d'épreuve : d'abord avec des eaux claires, ensuite avec des eaux chargées de toute la quantité de limons qu'un certain nombre d'ouvriers, délayant les vases à l'amont, pouvaient leur faire entraîner.

Le tableau suivant fait connaître les résultats numériques de ces observations, dans les conditions différentes de régime et de débit où nous nous sommes placé à quatre reprises successives.

Nos D'ORDRE des expériences.	HAUTEURS MOYENNES de la lame d'eau		VITESSE MOYENNE du courant		PROPORTION en poids de limons entraînés.
	en eaux claires.	en eaux troubles.	en eaux claires.	en eaux troubles.	
1	0,052	0,056	1,41	1,44	0,091
2	0,093	0,098	1,97	2,03	0,021
3	0,150	0,150	2,71	2,79	0,016
4	0,180	0,189	3,143	3,117	0,037

Les moyens de désagrégation des limons dont nous pouvions disposer étaient fort imparfaits. La température était en outre très-défavorable, les vases gelées à la surface ne pouvant s'arracher qu'avec beaucoup de peine. Dans ces conditions, nous sommes toujours resté bien au-dessous du point de saturation représentant la quantité de troubles

qu'un courant peut entraîner s
dépôt.

La première observation da
seule qui puisse donner une lin
de cette proportion. Il ne s'est
rience, produit aucun dépôt,
d'épreuve, mais sur toute l'éte
dans laquelle s'opérait l'écoule
gueur d'environ 200m. La vi
la plus grande largeur sur lac
filet d'eau sur lequel nous opé
faible sur tout le restant du
dans le canal d'épreuve, où l
fixée à 0m,59.

On peut donc poser comm
par l'expérience, qu'une eau c
moyenne de 1m,44 par secon
9 p. % de son poids de limo
lange de limons, loin d'avoir
paraît l'avoir plutôt augment
une très-grande probabilité, q
est notablement inférieure a
comporte une vitesse de 1m,

Ce fait de l'accélération de
produit dans la première ex
constaté dans la deuxième
quatrième seulement, la vite
peu moindre, ou plutôt les
blement égales.

Ce résultat d'une accéléra
mise en suspension d'une cer
un courant donné, est trop

ment admises à ce sujet, pour que nous puissions le donner comme l'expression d'une loi générale rigoureusement démontrée. Nos expériences sont trop peu nombreuses, les conditions dans lesquelles elles ont été faites offrent trop peu de garanties de précision, pour qu'il y ait lieu de prendre à cet égard une conclusion formelle.

La concordance des faits d'observation que nous venons de signaler n'en est pas moins trop frappante pour qu'on puisse, au point de vue pratique, hésiter à reconnaître que si le mélange d'une certaine quantité de limons n'a pas nécessairement pour effet d'accélérer la vitesse d'un courant, il ne la réduit pas du moins d'une manière notable. La plus grande densité du liquide paraît compenser, et au-delà, sa moindre fluidité.

On peut donc, sans erreur appréciable, appliquer les formules usuelles d'hydraulique, établies pour le cas particulier des eaux claires, aux conditions d'écoulement des eaux troubles, tout au moins dans les conditions d'expérience où nous nous sommes placé, tant que la proportion de matières limoneuses entraînées ne dépassera pas 9 à 10 p. °/₀ du poids des eaux, dans un courant animé d'une vitesse moyenne de $1^{m},44$.

Pour terminer la série de nos expériences, nous avons cherché à nous rendre compte de la puissance d'entraînement du canal en bois servant au transport des matières pierreuses. En temps moyen, la quantité charriée journellement, limitée par le nombre d'ouvriers occupés à ce travail, n'a pas dépassé 100 à 150 mètres cubes. Désirant avoir un résultat plus précis, nous avons fait approvisionner à l'amont du canal 10 mètres cubes de pierres de toutes dimensions, et nous avons noté le temps que huit ouvriers, travaillant avec toute la célérité possible, ont mis à les pro-

jeter dans le canal, maintenu dans les conditions de régime de la quatrième expérience rappelée plus haut. Ce temps a été de 20 minutes. Le débit du canal ayant été dans ces conditions de 332 litres par seconde, soit environ 400^{m} en 20 minutes, la puissance d'entraînement aurait été de 2 $^1/_2$ p. $^0/_0$. Mais dans cette circonstance, comme dans les précédentes, il était bien évident que nous étions resté fort au-dessous du point de saturation, et que le canal en bois, avec son minime débit de 300 litres par seconde, aurait pu suffire à un travail bien plus considérable encore.

Les pierres entraînées, n'ayant jamais été roulées, présentant des faces planes et des arêtes vives, étaient d'un calcaire très-dur et très-cassant. Il nous aurait été à peu près impossible de déterminer avec précision le travail de désagrégation produit par l'entraînement. Nous avons toutefois constaté que toutes les pierres sortant du tuyau, après un parcours moyen de 2 à 300^{m}, présentaient sur leurs principales arêtes des traces d'usure assez visibles pour qu'il en soit résulté, à nos yeux, une nouvelle confirmation des faits d'observation que nous avons déjà cités (XXIV), sur la limite de résistance qu'un galet calcaire peut offrir à l'action d'un courant.

CXXXVI.

Nous n'abandonnerons pas la question du régime des eaux troubles, sans signaler quelques-unes des nombreuses applications industrielles que pourraient recevoir les bondes de fond, en dehors de leur emploi plus spécial à la clarification des eaux de Marseille.

Il serait notamment très-facile de les utiliser pour concentrer sous un petit volume, à l'état de produits solides, aisés à manier et à transporter, les substances fertili-

santes dont sont chargées les eaux d'égout de nos grandes villes.

Le seul procédé employé jusqu'ici pour tirer parti de ces matières organiques habituellement perdues[1], consiste à les précipiter par la chaux ou le sulfate d'alumine, à reprendre le dépôt par une vis d'Archimède plongeant au fond du réservoir où se fait le mélange, à le dessécher dans des essoreuses, et à découper le résidu solide en mottes susceptibles d'être portées au loin.

Qui ne voit la simplification que l'usage des bondes de fond, substituées aux vis d'Archimède, pour recueillir et séparer les précipités, apporterait dans la pratique de ce procédé! on pourrait, par exemple, opérer sur le grand égout d'Asnières, à l'aval de Paris. Les eaux de cet égout, sans qu'il fût même nécessaire de les relever artificiellement par des machines hydrauliques, seraient, après leur saturation par le sulfate d'alumine, conduites par une galerie plongeante dans un bassin décanteur. Au fond de ce bassin, de forme conique autant que possible, seraient disposées des bondes d'appel placées sur une ou plusieurs conduites en communication avec un tuyau principal, dans lequel on n'aurait plus qu'à produire une forte aspiration pour attirer au dehors, dans un état convenable de concentration, les boues liquides devant constituer l'engrais.

Mais parmi toutes les tentatives de ce genre que nous pourrions citer, il en est une que nous traiterons avec quelques détails, car son importance égale au moins celle de la clarification des eaux de la Durance, dont elle est en quelque sorte le complément indispensable. Nous voulons parler

Mille; Assainissement des villes en Angleterre. (*Annales des Ponts-et-Chaussées*, 1855, 1er semestre.) — *Journ. d'agricult. prat.*, 1867.

de l'assainissement du vieux port de Marseille. Ces deux questions ont entre elles un étroit rapport. Il est bien difficile d'étudier l'une sans avoir à s'occuper de l'autre.

Lorsqu'on a commencé les travaux du canal de Marseille, on s'était flatté de l'espoir que l'introduction de nouvelles eaux, en renouvelant, dans un laps de temps assez court, la masse de celles du port, aurait pour effet d'entraîner les vases fluides amoncelées dans sa cuvette. Il n'en a rien été. Les eaux, arrivant en plus grande abondance par les égouts, n'en perdent pas moins toute vitesse appréciable, au contact de la large nappe dans laquelle elles se répandent. Elles deviennent incapables d'opérer aucun travail mécanique de transport ; loin d'entraîner de nouvelles matières solides, elles laissent déposer les troubles dont elles sont elles-mêmes chargées. A moins de disposer d'un véritable fleuve, dont le débit serait assez considérable pour refouler à la fois tout le volume des eaux et le remplacer en quelques heures, on ne saurait obtenir une chasse capable de balayer et de rejeter directement dans la rade les immondices amoncelés depuis tant de siècles.

Une dérivation d'eaux douces ou salées, d'un débit forcément restreint, en quelque point de la ligne des quais qu'elle débouche, ne produira jamais qu'un déplacement de surface, qui pourra bien emporter avec lui une partie des matières en dissolution, mais qui restera sans action sur la masse principale des vases du fond, où germent incessamment les miasmes pestilentiels si dangereux pour la ville de Marseille. Les matières solides qui donnent naissance à cette fermentation se concentrent en effet dans les couches inférieures, en vertu du même principe de densité qui détermine la précipitation des limons de la Durance dans les réservoirs décanteurs.

Le problème est le même dans les deux cas. Il s'agit toujours de dépôts semi-fluides, dont on n'arrivera à se débarrasser qu'en les aspirant à mesure, au lieu même où ils se produisent, par un soutirage de fond; et ce résultat, nous croyons pouvoir l'affirmer aujourd'hui, on l'obtiendra avec autant de certitude et sans plus de frais, pour le nettoiement du vieux port que pour celui des bassins de décantation du canal.

L'efficacité des bondes de fond ne saurait être contestée en principe; leur disposition seule devra être changée, pour les adapter à la surface plate et peu profonde du vieux port. Le cône d'aspiration des bondes devant être fort peu étendu, leur nombre serait beaucoup trop considérable, s'il fallait les installer, comme à Ponserot, sur un réseau de conduites fixes. Mais rien n'est plus aisé que de tourner la difficulté en admettant une conduite mobile, simplement immergée dans les vases fluides du fond,—qu'il sera très-facile de déplacer pour lui faire parcourir successivement toute la surface à assainir.

Notre projet ainsi complété est des plus simples; il comprend trois parties distinctes: une machine élévatoire, une conduite d'aspiration, et une conduite de refoulement.

La machine élévatoire sera placée à l'aval du port (*Pl.* V, *fig.* 6), près du bassin de carénage; elle se composera d'une pompe rotative, à force centrifuge, mise en jeu par une machine à vapeur ou mieux encore par une machine hydraulique, si, comme nous l'espérons, il est possible de diriger sur ce point la chute de quelques eaux perdues.

La conduite d'aspiration comprendra une branche fixe, verticale ou inclinée, plongeant jusqu'au fond du port, et une branche horizontale mobile, d'une longueur égale à la diagonale du bassin, formée de tronçons rigides reliés entre

eux par des manchons de cuir. Sur chaque tronçon rigide seront fixés, par deux cordes, des petits flotteurs qui permettront avec la plus grande facilité de déplacer l'ensemble de la conduite en la faisant traîner sur le fond, de telle sorte qu'elle puisse successivement parcourir toute l'étendue du port dans un laps de temps déterminé, un mois par exemple. Sur cette conduite d'aspiration seront distribuées les bondes de vidange que nous décrirons tout à l'heure.

Il est bien évident que le jeu de la machine d'aspiration établie sur le quai aura pour effet d'appeler à elle les vases fluides au milieu desquelles la conduite de fond se trouvera immergée.

Ces eaux seront à mesure poussées par la pompe centrifuge dans la conduite de refoulement, formée d'un simple tuyau de fonte qui, suivant le tracé naturel des voies publiques les plus courtes, viendra, en siphonnant, déboucher dans l'anse des Catalans, ou en tout autre point du littoral où pourront être rejetés sans inconvénient les immondices du port. Il sera même utile d'étudier à cet égard si, au lieu de projeter directement les eaux sales dans la mer, il ne serait pas préférable de les recevoir dans un bassin de décantation, après les avoir saturées par un lait de chaux ou une dissolution de sulfate d'alumine. Le dépôt ainsi obtenu constituerait en effet un engrais d'une grande richesse, qui payerait probablement, et beaucoup au-delà, les frais de toute nature qu'entraînera l'exécution de notre projet.

Ces frais seront d'ailleurs très-minimes. N'aspirant plus que des eaux de fond, à leur maximum de concentration, nous croyons qu'il suffira d'établir la puissance de l'appareil pour une extraction de 100 litres au plus par seconde. Mais il sera bon de maintenir une vitesse assez grande dans

les conduites ; cette précaution, utile dans tous les cas pour diminuer les chances de dépôts, sera surtout avantageuse dans la conduite d'aspiration, à raison des plus grandes facilités de déplacement qui résulteront d'une moindre ouverture et d'un moindre poids.

Nous proposerons d'admettre pour limite moyenne de cette vitesse, 0m,80 dans la conduite de refoulement, 1m,00 dans celle d'aspiration, ce qui correspondra à des diamètres de 0m,40 et 0m,35.

Dans ces conditions, la perte de charge, ou force de résistance, que devra vaincre la machine, sera représentée par une élévation de 6m,00 dans les eaux extraites, ce qui, pour 100 litres par seconde, correspondra à un travail utile de 8 chevaux exigeant une puissance brute de 12 à 15 chevaux pour la machine motrice.

Cette machine, la conduite de refoulement placée à la suite, sont des engins d'un usage courant, dont l'installation ne saurait offrir aucune difficulté particulière que nous ayons à prévoir ici. Nous croyons, au contraire, indispensable d'entrer dans quelques détails sur la conduite d'aspiration, en ce qui concerne surtout le fonctionnement des bondes d'appel et les appareils de levage employés au déplacement des tuyaux.

Si nous nous trouvions dans les conditions ordinaires d'une vase homogène, analogue aux limons minéraux de la Durance, l'idée la plus naturelle serait de répartir les bondes sur toute la longueur de la conduite. Elles seraient formées de simples trous circulaires de 0m,01 à 0m,02 de diamètre, différemment espacés, suivant l'appel qu'ils auraient à produire. Mais nous devons prévoir la rencontre, dans les vases du port de Marseille, de matières organiques filamenteuses incomplètement désagrégées : brins de paille, débris

de végétaux, chiffons d'étoffes, qui, en s'introduisant par de petits orifices, auraient peut-être pour effet de les tamponner. Plusieurs moyens pourraient être essayés pour s'opposer à cette obstruction : des chasses en sens inverse du mouvement ordinaire, qui seraient produites de temps à autre en mettant le tuyau aspirateur en communication avec le réseau des conduites d'eau de la ville ; un grillage posé sur les bondes ; l'emploi de plaques mobiles portant les orifices de ces bondes, fixées à des flotteurs qui donneraient la facilité de les remonter à la surface pour les nettoyer, sans relèvement des conduites.

On obtiendrait sans doute des résultats avantageux de ces divers procédés ; mais le plus simple consistera bien évidemment à réduire le nombre des orifices d'appel, et à concentrer leur action sur un petit espace. L'aspiration sera produite par des *bondes-suçoirs*, au nombre de dix à douze, en forme de pommes d'arrosoir en tôle, percées de gros trous et placées chacune à l'extrémité d'une antenne accessoire, tuyau très-flexible de $0^m,12$ de diamètre sur 10 à 12^m de long, embranché sur un des derniers tronçons de la conduite principale.

Un ou deux ouvriers au plus, manœuvrant dans un batelet construit à cet usage, déplaceront avec la plus grande facilité ces suçoirs dans toute l'étendue de leur cercle d'action, et les remonteront, au besoin, à fleur d'eau, pour les nettoyer à la main, sans avoir besoin d'interrompre le travail général.

La conduite de vidange, dans ce cas, devra conserver sur toute sa longueur son diamètre uniforme de $0^m,35$. Les tronçons rigides, de longueur variable, seront construits d'une seule pièce, en tôle rivée de $0^m,005$ d'épaisseur, renforcés par quelques anneaux de fer portant les crochets

d'attache des cordes ou chaines de suspension fixées aux flotteurs.

Les manchons mobiles, de même que les antennes flexibles portant les suçoirs, seront formés de deux épaisseurs de cuir solidement cousues sur une spirale intérieure en fil de fer ou de laiton.

Les appareils de levage seront de deux sortes: les petits batelets servant à manœuvrer les suçoirs, et un ponton beaucoup plus fort, portant deux treuils destinés à soulever d'abord, à déplacer ensuite, parallèlement à eux-mêmes, les divers tronçons de la conduite.

On ne saurait avoir de doutes sur la possibilité de ces manœuvres, en se rappelant la facilité avec laquelle on immerge et on relève au besoin, par d'immenses profondeurs, les câbles électriques sous-marins. Nous pourrions même invoquer à cet égard l'exemple de travaux analogues que nous avons eu personnellement occasion de faire exécuter à Cette, pour la pose des siphons raccordant les conduites de la distribution des eaux à la traversée des canaux du port. Plusieurs de ces siphons avaient de 30 à 35^{m} de longueur, non comprises les branches verticales, de 8 à 10^{m} de hauteur; ils étaient composés de tuyaux de $0^{m},30$ de diamètre, en fonte ordinaire, pesant par suite trois fois plus que les tuyaux de tôle que nous proposons d'employer à Marseille. Ils ont été mis en place, d'une seule pièce, avec la plus grande facilité, sans que leur immersion ait jamais eu pour résultat de les déformer ou d'altérer la solidité des joints à emboîtement préparés au dehors.

La conduite d'aspiration, ne devant fonctionner que par son extrémité libre, sera posée par parties successives. On commencera par mettre en place le tuyau plongeur terminé par un coude de 90°, au bout duquel seront fixés un pre-

mier manchon flexible de 3 ou 4^{m}, et deux ou trois tronçons rigides de 10^{m} chacun ; viendront ensuite les deux tronçons portant les suçoirs, qui commenceront à opérer le nettoiement sur un rayon de 50^{m} environ. Ce premier travail achevé, on remontera l'extrémité libre de la conduite ; on intercalera ensuite successivement, en arrière des suçoirs, de nouveaux tronçons rigides de 25 à 30^{m}, en nettoyant à chaque fois une zone correspondante.

L'opération sera terminée lorsqu'on aura atteint l'extrémité du port, et l'on profitera naturellement de cette occasion pour remonter toute la conduite, en vérifier les diverses parties, et les remettre graduellement en place dans le même ordre et dans les mêmes conditions que précédemment.

Deux ouvriers travaillant dans un batelet, pourront surveiller aisément trois ou quatre suçoirs. Chaque poste se composera donc de six hommes, qui réuniront leurs efforts pour le déplacement de la conduite principale. Suivant qu'on voudra travailler le jour seulement, ou de nuit et de jour, il faudra de deux à trois postes, soit au maximum une vingtaine d'ouvriers en vingt-quatre heures. Ajoutant tous les faux frais, salaire du mécanicien, achat de charbon,—si une machine à vapeur est nécessaire,—la dépense d'entretien n'ira certainement pas à 100^{f} par jour. Quant aux frais de premier établissement, largement comptés, ils pourront s'établir à peu près comme suit :

800^{m} de conduite d'aspiration à 35^{f},00.........	28000^{f}
100^{m} de manches flexibles portant les suçoirs, à 50^{f},00.......................................	5000
Machine élévatoire de 12 chevaux...............	35000
1000^{m} conduites de refoulement à 40^{f},00.........	40000
Appareils de levage et dépenses diverses.........	32000
TOTAL...............	$140,000^{f}$

Tel est le chiffre positif et indiscutable que nous avons à mettre en regard des millions auxquels s'élevaient les estimations de tous les projets antérieurs au nôtre ; et cependant, l'avantage d'une si énorme économie n'est ici qu'un fait accessoire ; l'important, en pareille matière, c'est le succès.

Il n'est pas en effet de question qui doive à un plus haut degré préoccuper l'attention publique. Marseille, assise sur un amphithéâtre de collines ; baignée par une mer aux flots profonds et limpides ; aérée par les vents du Rhône et des montagnes ; arrosée par les eaux saines et abondantes de la Durance ; loin de tout étang, de tout marais, présente des conditions naturelles de salubrité qu'on ne trouverait réunies au même degré en aucun autre point du littoral de la Méditerranée. Elle est cependant, plus que toute autre ville, exposée à des épidémies meurtrières dont on ne saurait chercher la cause ailleurs que dans les émanations fétides qui s'exhalent de la cuvette du vieux port. En vain on s'étudiera à assainir les anciens quartiers, à embellir les nouveaux ; tous les efforts resteront inutiles, tant qu'on n'aura pas fait disparaître les causes d'infection de ce cloaque où se putréfient les immondices accumulés de cent générations.

Personne ne conteste l'urgence de l'entreprise, et la question aurait été depuis longtemps résolue, coûte que coûte, si, parmi les propositions qui ont été faites, il s'en était trouvé une qui eût offert des garanties suffisamment sérieuses de succès. Or, ces garanties, notre projet les présente au plus haut point. *Avec une dépense de 140,000f en frais de premier établissement, il donnera des résultats certains, qu'aucune autre combinaison n'avait pu faire espérer jusqu'ici au prix de plusieurs millions.* Il paraît

en effet impossible que le petit appareil que nous recommandons, enlevant en vingt-quatre heures 8 000^{m} de vases liquides, aspirées successivement sur toute la surface de fond du vieux port, n'ait pas pour effet de le nettoyer à vif, dans un très-court espace de temps, et de le maintenir ensuite, à tout jamais, propre et débarrassé de toute matière putrescible.

Nous aimons à espérer que notre conviction à cet égard sera partagée par l'Administration municipale. S'il restait dans les esprits quelques doutes sur l'efficacité de notre procédé, rien ne serait plus que facile de l'expérimenter à très-peu de frais, en se servant d'une pompe mue par une locomobile et d'un tuyau provisoire de petite longueur. Avec une dépense de 2 000^{f} au plus, on pourra s'assurer ainsi, par un essai direct, de la puissance du nouveau système de chasse que nous avons l'honneur de proposer aujourd'hui, en même temps que l'on en étudiera les détails pratiques d'application.

CHAPITRE VII

CONSIDÉRATIONS FINANCIÈRES ET ÉCONOMIQUES.

CXXXVII.

Nous avons étudié jusqu'ici la transformation du sol arable à un point de vue essentiellement technique, plus particulièrement du ressort de l'ingénieur. La question est toutefois trop importante pour que nous puissions nous dispenser de la traiter sous son côté financier, comprenant à la fois les voies et moyens d'exécution et les résultats pratiques de l'exploitation.

L'ensemble des travaux d'amélioration générale que nous avons énoncés plus haut pourrait s'exécuter par trois modes différents, qui sont :

La construction par l'État ;
— — par un syndicat de propriétaires intéressés ;
— — par une compagnie concessionnaire.

La première et la seconde solution ne sont pas plus acceptables l'une que l'autre. Des travaux de cette nature impliquent comme résultat final une exploitation agricole. L'État ne saurait s'en charger; il ne peut intervenir directement dans l'entreprise, son rôle devra donc se borner à la préparer par des études préalables, à la faciliter par tous les

encouragements et les moyens en son pouvoir. Le reste doit être laissé à l'industrie privée.

Pour peu qu'on se soit d'ailleurs personnellement trouvé aux prises avec les difficultés d'organisation d'une société syndicale, ayant cependant un but bien déterminé, on comprendra l'impossibilité d'étendre une association de ce genre à un aussi grand nombre d'intéressés que le comporterait par exemple la fertilisation des Landes. Il ne suffit pas en effet, comme pour un canal d'irrigation ou de dessèchement, d'installer une série de travaux définis, embrassant un périmètre délimité, dans l'intérieur duquel tous les intéressés seraient appelés, au même jour, à jouir à la fois des mêmes avantages. L'amélioration projetée doit s'étendre à une immense surface, et ne peut être que successive.

Si rapide que doive être la transformation, s'appliquât-elle, comme nous l'avons admis, à une superficie annuelle de 24 000 hectares, quelle n'exigerait pourtant pas moins de vingt ans pour la mise en valeur des grandes Landes, de quarante ans pour la superficie totale de la région. On ne saurait admettre que tous les intéressés acceptassent l'éventualité de voir reculer à un avenir aussi éloigné la réalisation des avantages qui leur seraient individuellement promis. L'association ne pourrait donc embrasser l'universalité des propriétaires. Étendue à un nombre restreint d'entre eux, elle créerait une catégorie de terrains privilégiés, améliorés à l'exclusion des autres ; combinaison à laquelle ne saurait se prêter l'Administration supérieure, qui doit avoir en vue de préparer la transformation complète et non partielle du sol des Landes. Une association restreinte ne serait, en fait, qu'une société financière; et s'il est à désirer que parmi les actionnaires de cette société figurent le plus grand nombre de propriétaires possible, on ne saurait en faire une con-

dition indispensable. Du moment où il s'agit d'un appel aux capitaux, il est bon que le concours soit libre entre eux.

Sans vouloir exagérer les mérites des compagnies financières, on ne saurait contester qu'elles n'aient rendu de grands services pour l'exécution du réseau des chemins de fer ; et cependant, dans une telle entreprise, il s'agissait d'un monopole bien défini, analogue à ceux que l'État gère déjà, et qu'il aurait peut-être pu exercer une fois de plus dans ce cas particulier avec des avantages sérieux.

Le rôle des compagnies financières est bien autrement marqué pour l'entreprise des grands travaux d'amélioration agricole, dont la réalisation prochaine, nous l'espérons du moins, sera l'œuvre capitale de la fin du siècle. Dans des travaux de cette nature, bien plus encore que dans les chemins de fer, les associations de capitaux trouveront une occasion favorable de faire preuve de leur aptitude et de leur intelligente direction.

Nous admettrons donc que c'est à une compagnie de ce genre que sera confiée l'entreprise de l'amélioration des Landes, qui ne devra pas se borner à l'exécution des travaux du canal, qui devra embrasser dans de certaines limites l'exploitation agricole. Non que nous songions à exclure les particuliers de cette dernière partie du programme : ils seront toujours libres d'y coopérer ; mais la compagnie concessionnaire, en agissant de concert avec eux, pourra leur donner, par ses propres travaux, le type et le modèle des procédés de culture qu'ils auront à suivre.

Nous avons évalué à 14 millions la dépense nécessaire à l'exécution des travaux embrassant le périmètre des grandes Landes. Pour nous mettre à l'abri de toute crainte d'insuffisance, triplons la somme à valoir du projet; admet-

tons que le capital social soit porté à 20 millions, et qu'à ce prix l'ensemble des canaux concernant les grandes Landes puisse être achevé et mis en état de fonctionner. Une fois à ce point, la compagnie, en même temps qu'elle livrerait une partie des limons aux propriétaires qui en feraient la demande, aurait à opérer pour son propre compte sur des terrains lui appartenant en toute propriété. Une des premières conditions du cahier des charges devrait donc avoir pour but de garantir à la compagnie le moyen d'acquérir, dans des conditions de prix convenables, une superficie déterminée du sol des Landes.

La loi sur l'expropriation s'appliquerait difficilement à de pareils achats; en tout cas elle n'offrirait aucune garantie à la compagnie concessionnaire. On ne saurait en effet la livrer sans défense à tout l'arbitraire des décisions d'un jury composé de propriétaires qui resteraient libres de fixer le prix des landes, non à leur valeur réelle, mais à une valeur fictive, égale ou supérieure à celle que pourraient leur faire acquérir les travaux projetés.

Des dispositions législatives spéciales seraient nécessaires, et il nous semble qu'on pourrait très-équitablement se rapprocher de celles de la loi du 16 septembre 1807. La fertilisation d'un sol aussi aride que celui des Landes est une question qui a bien autrement d'importance, au point de vue de l'intérêt général, qu'un desséchement de marais. On conçoit dès-lors que cette opération puisse, dans de certaines limites, justifier une atteinte aux droits ordinaires de la propriété privée.

Dans l'état actuel, pour le seul but d'assurer leur prochain ensemencement, certains terrains des Landes se trouvent déjà soumis à des mesures spéciales. Nous ne pensons pas qu'on pût hésiter à donner à ces mesures l'ex-

tension que nécessiterait une transformation agricole qui doit laisser bien loin derrière elle la propagation des bois de pins. Il ne serait pas d'ailleurs nécessaire d'étendre ces mesures aux terrains particuliers; il suffirait de les rendre applicables à ceux sur lesquels l'État à déjà un droit de contrôle et de tutelle, aux terrains communaux par exemple.

La superficie des landes appartenant aux communes est de plus de 250 000 hectares dans les départements des Landes et de la Gironde. Moitié au plus de cette surface se trouve ensemencée; le reste est à l'état de landes rases, et il n'y aurait pas grande iniquité à stipuler que, sur cette vaste étendue, une surface restreinte de 25 000 hectares serait livrée à la compagnie concessionnaire, soit à sa valeur vénale actuelle, soit à la condition de fertiliser par des apports de limons une superficie égale ; ce qui représenterait pour les communes l'obligation de payer une redevance en nature et non en argent.

Admettant cette dernière combinaison, la compagnie concessionnaire, sur les 10 à 12 millions de mètres cubes de limons qu'elle fabriquerait annuellement, pourrait être tenue d'en livrer moitié aux particuliers qui en feraient la demande suivant un tarif arrêté par l'Administration; fixé par exemple à raison de 0f,60 le mètre cube, soit 300f par hectare de terrain fertilisé.

De ce chef, la compagnie percevrait une redevance annuelle de 3 millions, qui suffirait à couvrir, et au-delà, tous ses frais généraux ou particuliers d'exploitation, intérêts compris du capital de premier établissement. Les bénéfices proviendraient de l'utilisation du restant des limons qu'elle emploierait, par hypothèse, à fertiliser tous les ans une surface de 10 000 hectares de terrains communaux, dont moitié lui reviendrait en nature et serait directement exploitée par elle.

CXXXVIII.

La compagnie devenue propriétaire aurait à exploiter les terrains acquis par elle en nature. Elle ferait face à cette exploitation en émettant un nombre convenable d'obligations, et il nous reste à voir quelle pourrait être l'importance de cette nouvelle branche de revenus. Les explications que nous donnerons à ce sujet ne seront pas d'ailleurs spéciales aux intérêts de la compagnie ; elles auront surtout pour but de faire comprendre comment pourrait être résolue, suivant nous, d'une manière générale, la question de mise en culture du sol amendé ; question qui nous a valu quelques objections. Plusieurs personnes ont en effet manifesté la crainte qu'on ne pût trouver sur place ni tirer du dehors toutes les ressources nécessaires en capitaux, ouvriers et bestiaux, pour mettre en culture une si grande étendue de terrains. Quand bien même les conditions d'une telle exploitation agricole resteraient ce qu'elles sont ailleurs, ces craintes seraient fort exagérées ; car, de nos jours, les capitaux et les hommes se portent facilement d'eux-mêmes aux lieux où ils sont sûrs de trouver un emploi rémunérateur. Mais dans les conditions toutes spéciales où se trouvera le sol régénéré des Landes, nous croyons qu'on pourrait se débarrasser d'une grande partie des entraves qu'opposent ailleurs à la grande culture la diversité du sol, son morcellement et son relief inégal. Nous reportant à ce que nous avons déjà dit de la Camargue (XCVII), nous pensons qu'on pourrait également tirer un grand parti des machines pour la préparation et les travaux agricoles des nouveaux terrains qui seraient livrés à la culture. Par sa composition minérale et sa constitution physique, ce sol

serait propre à toutes les productions végétales, mais il nous paraîtrait devoir être de préférence réservé, pour la moitié ou le tiers tout au moins, aux cultures fourragères, auxquelles le climat chaud et humide des Landes est plus particulièrement favorable. Cette destination n'aurait pas seulement pour effet de réduire dans une proportion assez grande la main-d'œuvre nécessaire, elle aurait l'avantage de donner un très-grand développement à l'industrie de l'engraissement et de l'élève des bestiaux, dont le midi de la France est plus particulièrement dépourvu.

Les opérations de mise en valeur du sol comprendraient, à part le répandage des limons: l'extirpation préalable des végétaux naturels qui recouvrent la surface des landes ; le mélange des amendements argilo-marneux avec le sable; les labours nécessaires pour ameublir la terre sur une épaisseur convenable; les semailles et les récoltes.

La plupart de ces travaux pourraient être exécutés par des machines. A cet effet, ainsi que nous l'avons indiqué dans notre chapitre sur la Camargue, le terrain plat des landes serait découpé par des chemins d'exploitation tracés à angle droit à 500^{m} les uns des autres, en une série de carrés égaux de 25 hectares de superficie chacun. Le long de ces chemins et dans deux sens alternatifs, perpendiculaires, pourraient se mouvoir des locomobiles conjuguées, entre lesquelles serait établi le mouvement de va et vient d'un câble métallique, auquel on attellerait non-seulement les charrues et les herses, mais les faulx, les râteaux, etc.; en un mot tous les engins nécessaires à la préparation du sol, aussi bien qu'à la récolte des produits. Le même appareil pourrait également servir, au besoin, à mettre en jeu de fortes faulx qui, préalablement au répandage du limon, couperaient au niveau du sol les bruyères et les fougères

qu'il produit spontanément aujourd'hui, au cas où l'on ne pourrait s'en débarrasser d'une manière plus simple par le feu, pendant la saison d'hiver.

Deux locomobiles conjuguées, de 15 chevaux de force, peuvent, avons-nous dit, labourer près de 7 hectares de terrain par jour, soit pour une moyenne de 150 jours de travail effectif, une superficie de 1050 hectares par an. En admettant que dans un assolement normal, comprenant du tiers à moitié de plantes fourragères et le reste en céréales, on ait à faire, pour préparation du sol, semailles, cultures, l'équivalent de deux labours annuels, — deux locomobiles suffiraient à la culture de 500 hectares. Les travaux de limonage et l'ex tirpation des végétaux naturels mis à part, la préparation préalable du sol nécessiterait probablement une année de chômage, peut-être deux, pendant lesquelles des travaux de défoncement et de labours répétés assureraient la destruction de la végétation spontanée et l'incorporation des amendements du nouveau sol. Dans ces conditions, il nous paraîtrait que la mise en état de production d'une superficie de 500 hectares exigerait l'avance du capital ci-après :

Valeur vénale du sol primitif et limonage (pour mémoire).	» »
Ouverture de 20 kilomètres de chemins de service obtenus par le simple retroussement en chaussée de 0m,50 de hauteur, des terres provenant de l'ouverture des fossés latéraux, à 2f le mètre courant	40000f
Achat de deux locomobiles à 15000f	30000
Câbles, charrues, herses et autres engins	10000
Travail des deux locomobiles pour extirpation des végétaux, défoncements, labours répétés pendant deux ans, 500 jours de travail à 80f l'un	40000
Construction de bâtiments d'exploitation	100000
A reporter....	220000f

Report	220 000f
Achat de bestiaux et capital du fonds de roulement au moment de la mise en exploitation..................	100 000
Perte d'intérêt pendant un an en moyenne...........	30 000
Conduite des travaux...........................	30 000
Somme à valoir pour dépenses diverses ou imprévues..	120 000
Total.............	500 000f

pour la mise en état de production définitive d'une superficie nette de 470 hectares, déduction faite du terrain occupé par les chemins, fossés et bâtiments d'exploitation, soit un peu plus de 1 000f par hectare.

Il va d'ailleurs sans dire que la superficie de 500 hectares, représentant celle qui peut être travaillée par un couple de locomobiles, a été prise arbitrairement. Au point de vue de l'exploitation, il y aurait, croyons-nous, avantage à grouper en un seul corps deux lots semblables, formant un domaine de 1 000 hectares, à la direction duquel suffirait un homme intelligent.

Il devrait être secondé par deux surveillants des travaux et des cultures, quatre mécaniciens, deux maîtres laboureurs, huit hommes à la manœuvre des poulies supportant les câbles des charrues, et une cinquantaine d'hommes ou femmes, valets de ferme, bergers, etc., représentant au total un personnel de 60 ouvriers et une population de 300 personnes environ, en y comprenant les enfants et les femmes étrangères à l'exploitation proprement dite.

La fertilisation annuelle de 24 000 hect. entraînerait la création de vingt-quatre domaines analogues, au service desquels suffirait une population rurale de 7 à 8 000 personnes, qu'on pourrait aisément recruter dans le pays, sans faire un appel à l'émigration étrangère.

La compagnie, — ayant pour son compte 5 000 hectares à

mettre en culture annuellement, jusqu'à concurrence du total de 25 000 hectares, que nous avons supposé devoir lui être réservé, — aurait à emprunter chaque année, pendant cette période de cinq ans, un capital de 5 à 6 millions environ. En comptant à 6 p. % l'intérêt de ses obligations, amortissement compris, elle augmenterait annuellement ses charges de 340 000f pendant cinq ans, soit de 1 700 000f pour la période totale de cinq ans. Quant aux bénéfices, si bas que l'on compte, — dans les conditions exceptionnellement faciles d'exploitation où l'on se trouverait placé; opérant sur des terrains de composition identique, où les assolements pourraient être fixés avec une régularité mathématique; réalisant par l'emploi de la vapeur une économie de plus de moitié sur la main d'œuvre, — on ne saurait estimer à moins de 200f le produit net d'un hectare en pleine culture.

A partir de la troisième année, les produits augmenteraient annuellement d'un million, par suite de la mise en valeur de 5 000 hectares. Déduisant les charges du service des obligations, il resterait un bénéfice net de 660 000f qui se cumulerait pendant cinq ans et atteindrait une valeur finale de 3 300 000f, soit environ 22 p. % du capital de premier établissement du canal, en sus des intérêts couverts, comme nous l'avons dit, et au-delà, par la vente de la moitié des limons.

A l'expiration de cette période de cinq ans, pendant laquelle on lui aurait réservé l'exploitation d'une certaine quantité de terrains communaux, la compagnie concessionnaire rentrerait dans le droit commun. Elle pourrait, à son gré, acheter au mieux de nouvelles quantités de terrains, ou vendre aux particuliers la totalité de ses limons. Dans cette dernière hypothèse, ses revenus nets augmente-

raient annuellement de 3 millions et seraient définitivement fixés à plus de 6 millions, soit environ 40 p. °/₀ du capital social. Sur ce revenu d'ailleurs, la compagnie pourrait prélever une annuité suffisante pour faire face à l'émission d'une nouvelle série d'obligations qui lui servirait à prolonger l'opération sur les landes de la Gironde, par la construction de la branche de la pointe de Grave, qui ne saurait être plus longtemps ajournée.

Les chiffres que nous venons de produire suffisent pour démontrer comment l'entreprise pourrait être fructueuse pour une compagnie concessionnaire qui se chargerait à la fois de la construction du système hydraulique et de la mise en valeur d'une partie des terrains fertilisés.

Nos évaluations seraient-elles exagérées sur certains points, faibles sur d'autres, que la marge est toujours assez grande pour assurer à la compagnie concessionnaire des bénéfices largement rémunérateurs. En tout cas, l'État, pour une première entreprise de ce genre, pourrait garantir un minimum d'intérêt au capital social. Il a bien été obligé de le faire, il y a trente ans, pour l'exécution du chemin de fer d'Orléans !

La compagnie concessionnaire, en même temps qu'elle fournirait l'outil nécessaire à la régénération des Landes, donnerait ainsi l'exemple pratique des procédés à suivre pour en tirer parti ; le reste serait l'affaire de l'industrie particulière et des efforts collectifs ou isolés des propriétaires, qui n'auraient qu'à reproduire le type placé sous leurs yeux.

Tous les ans, la surface des terres cultivées, à raison de 24 000 hectares, pourrait s'accroître d'une vingtaine de domaines identiques à celui dont nous avons esquissé le programme. En quarante ans, la transformation progres-

sivement continuée serait complète. Une population rurale de 300 000 âmes, exploitant mille domaines d'une superficie totale d'un million d'hectares d'excellentes terres, fournirait annuellement à la consommation un ensemble de produits égal à celui que donne aujourd'hui le sixième de la France entière, suffisant à faire vivre une population de six millions d'habitants.

CXXXIX.

Aux yeux de bien des gens, ce résultat final ne sera qu'une pure utopie. C'est le reproche banal fait à toute innovation, qui longtemps encore, nous ne saurions nous le dissimuler, paralysera nos efforts, entravera l'exécution du programme de réforme agricole que nous venons d'exposer.

Il eût été plus sage et plus prudent peut-être de notre part de ne pas livrer notre pensée tout entière ; de laisser un certaine vague planer sur le résultat; de ne pas ajouter à la répulsion instinctive qui doit accueillir dans les esprits prévenus l'emploi des alluvions artificielles, les objections particulières auxquelles donne lieu l'application pratique des moteurs à vapeur aux opérations agricoles. Nous sommes fort inhabile à de pareils ménagements. Animé d'une conviction sincère, n'ayant aucune ambition personnelle, sans intérêt particulier qui puisse nous faire prendre nos désirs pour des réalités ; à l'abri des enivrements du succès, aussi bien que des déceptions d'un ajournement ou d'un échec, nous exposons les choses telles que nous les voyons. Le chiffre plus ou moins élevé des bénéfices que retireraient de leur entreprise les premiers capitaux qui s'associeraient pour exploiter les landes de Gascogne par les procédés qui viennent d'être décrits, est au fond chose

qui nous touche peu. La question est pour nous assez importante pour mériter d'être envisagée de plus haut, au point de vue des avantages généraux qu'elle doit produire, de l'influence qu'elle est appelée à exercer sur le développement du corps social. Nous avons à rechercher dès-lors ce que doit y gagner ce dernier.

Bien que les économistes ne paraissent pas avoir toujours établi cette distinction avec assez de netteté, on ne saurait classer au même rang, uniquement d'après leur valeur vénale, tous les capitaux dont l'ensemble constitue la richesse publique. On ne pourrait admettre une parité parfaite entre les objets de luxe et de nécessité; placer au même niveau, par exemple, la perle consommée par Cléopâtre en un repas, et une quantité équivalente, en prix d'achat, de substances alimentaires pouvant suffire pendant un an à la nourriture d'un millier de familles.

Envisageant la question sous un autre aspect, sans rechercher si la valeur vénale doit être le seul terme de comparaison, il nous paraît impossible de ne pas distinguer, dans la richesse publique, des capitaux de deux ordres différents : les capitaux de consommation, essentiellement périssables, et les capitaux producteurs, ou impérissables, que l'homme transmet à ses enfants après en avoir joui lui-même.

Au point de vue de l'intérêt immédiat et individuel du producteur, il ne saurait y avoir de différence entre ces deux espèces de capitaux, qui peuvent librement s'échanger l'un pour l'autre. Mais au point de vue des intérêts généraux de la société, les capitaux impérissables ont, en sus de leur valeur intrinsèque, une valeur toute spéciale, que nous appellerons l'*avoir social*.

Admettons, pour fixer les idées, que deux sommes égales

de travail manuel soient employées à produire : l'une un objet de luxe ou de consommation immédiate, l'autre une amélioration agricole ; les deux résultats de même valeur vénale. Dans les deux cas, l'économie politique établira son bilan de la même manière : elle mettra en regard, d'une part la somme du travail producteur et des capitaux dépensés, de l'autre le travail produit. Il n'y aura gain, pour la richesse publique, que tout autant que le produit sera supérieur à la dépense. De ce côté, il ne saurait y avoir de difficultés ; les résultats se compareront d'après le bénéfice réalisé, que nous supposons nul. Mais il en est tout autrement au point de vue de l'avoir social : il n'aura rien gagné dans le premier cas ; il se sera accru, dans le second, d'une quantité égale au produit brut obtenu.

Or, s'il peut appartenir au particulier pris isolément de ne pas faire de différence entre les deux opérations ; d'évaluer au même prix, uniquement d'après la valeur vénale, une production éphémère et une création durable, la même indifférence ne saurait être permise à l'État, représentant du corps social, — qui doit de son mieux diriger une partie notable des forces publiques vers l'augmentation de l'avoir, qui est sa richesse propre.

Si nous sommes en effet individuellement possesseurs absolus des capitaux de consommation, que nous pouvons anéantir à notre profit personnel, — nous ne sommes qu'usufruitiers des capitaux impérissables, dont la nue propriété appartient, par la famille, au corps social, qui seul représente la continuité des générations.

Le développement de la richesse publique considérée comme la somme de l'avoir des particuliers, n'est pas en effet un indice toujours certain de progrès pour une nation. Il en est tout autrement de l'accroissement de l'avoir social ;

il représente, dans la vie des peuples, ce que l'épargne capitalisée est dans la vie de l'homme : une réserve d'avenir, en même temps qu'une garantie certaine de nouvelles richesses. La société qui le néglige est sur le penchant de sa perte. Tel a été le sort de l'Espagne qui, après avoir exploité à son profit les trésors et les produits du nouveau Monde, a vu ces richesses éphémères se fondre en ses mains, sans qu'il lui ait été donné depuis lors de pouvoir rétablir le fonds social qu'elle avait laissé dépérir.

A un autre point de vue que celui de sa stabilité, l'avoir social se distingue de l'ensemble de la richesse publique, par sa valeur intrinsèque, absolue, indépendante des variations que le taux de l'intérêt, les crises financières ou toute autre cause font subir aux capitaux ordinaires.

Au premier rang de ces capitaux impérissables, dont le maintien et l'accroissement sont les bases certaines de la prospérité d'un pays, nous devons placer les valeurs territoriales. En dépit de toute classification arbitraire, de toute assimilation théorique, l'agriculture sera toujours pour nous la grande nourricière, la mamelle féconde où viendront se retremper toutes les industries, toutes les branches de la fortune publique. Ses progrès intéressent donc plus que tous autres l'avenir social ; et, par progrès agricole, nous entendons bien moins le perfectionnement des méthodes d'exploitation appliquées à un sol donné, que la création de toutes pièces de ce sol, ou, ce qui revient au même, sa fertilisation.

Bien qu'il ne soit pas chargé de les exploiter, le corps social, qui ne meurt point, est en réalité le seul représentant, nous pourrions dire le seul possesseur de ces biens, impérissables comme lui, qui constituent l'avoir social. Il doit veiller à leur conservation, en assurer le développe-

ment par tous les moyens en son pouvoir, réaliser toutes les améliorations reconnues possibles, quand bien même il devrait en résulter pour lui quelques sacrifices momentanés.

Nous pouvons, à l'appui de cette opinion, citer l'exemple d'un pays qui est lui-même le type le plus parfait de ces acquisitions pacifiques qu'il est donné à l'homme de réaliser sur la nature, conquêtes qui ne coûtent ni sang ni larmes, et qui font bien plus pour la grandeur d'un pays que celles qui résultent de l'emploi de la force et de la violence. Le Gouvernement Hollandais a fait exécuter récemment les travaux de dessèchement du lac de Harlem. Il a vendu, croyons-nous, à perte, les terrains gagnés sur la mer. L'entreprise, au premier abord, paraitra mauvaise pour lui; elle l'aurait été du moins pour un particulier. Mais, par le fait de la culture, le nouveau sol, dans des mains intelligentes, a décuplé de valeur. Quels ont été les bénéfices réalisés par les exploitants; comment ces bénéfices se sont-ils répartis entre eux, depuis le propriétaire du sol jusqu'au dernier des laboureurs? Nous l'ignorons. Il est évident que tout le monde a gagné dans l'opération; mais le bénéfice le plus incontestable est celui du corps social, dont l'avoir particulier s'est enrichi d'une somme précisément égale à la valeur actuelle du sol créé.

C'est dans le même esprit que précédemment nous avons apprécié les résultats probables de la transformation agricole du sol des Landes, qui doit résulter de l'application de notre système.

Quel que soit le prix de revient d'un hectare de terre en culture; s'il peut être amené à valoir 10 000^{f}, ou, ce qui pour nous est identique, à donner les mêmes produits qu'un hectare qui vaudrait ailleurs 10 000^{f}, cette somme

presque entière, déduction faite de la valeur actuelle seulement, représentera l'augmentation de l'avoir social pour chaque hectare mis en valeur.

La marge des bénéfices est d'ailleurs si grande qu'il n'y a point à redouter l'éventualité de sacrifices pécuniaires immédiats ; les revenus de l'entreprise seront toujours plus que suffisants pour en couvrir les frais. L'État n'aura en quelque sorte que le choix des moyens ; bien que celui que nous avons indiqué : l'exécution par voie de compagnies financières, nous paraisse *à priori* de tout point préférable, au début tout au moins.

CXL.

La question qui nous occupe se rattache intimement aux destinées à venir de l'industrie agricole. Sous ce rapport, elle touche à une foule d'intérêts privés, prompts à s'alarmer, tout prêts à repousser le mieux, de peur du pire. Il n'est donc pas étonnant que nos idées n'aient pas rencontré partout cette adhésion unanime et bienveillante sur laquelle nous avions cru un moment pouvoir compter.

Parmi les meilleurs esprits, il en est beaucoup pour lesquels toute réforme économique est un sujet de doute et d'appréhension. Les uns, jugeant des efforts par les résultats, s'effrayent d'autant plus que les avantages annoncés doivent être plus grands ; d'autres, reculant devant la responsabilité morale d'un acquiescement positif, ou le travail intellectuel que peut réclamer l'étude approfondie d'une questiou nouvelle, cèdent à la tentation de repousser tout un travail d'ensemble pour un détail mal posé ou mal compris.

Il en est encore, et ceux-là sont malheureusement trop nombreux, qui, de la meilleure foi du monde, laissent

influencer leur appréciation par un sentiment inavoué d'intérêt personnel souvent mal entendu. Dans une assemblée sur l'appui de laquelle nous croyions pouvoir compter, dans une Société d'agriculture, il s'est trouvé des hommes qui, dans notre projet, ont attaqué, non sa possibilité pratique, qu'ils ne mettaient pas en doute, mais ses conséquences économiques; qui, dans un accroissement de la production agricole, n'ont vu qu'une atteinte aux droits acquis, un avilissement du prix des denrées alimentaires devant déprécier ou ruiner les propriétés existantes.

Telle eût été l'opposition, fort heureusement moins puissante, des maîtres de poste à l'établisement des chemins de fer; tels sont les sentiments qui ont poussé parfois les ouvriers d'une usine à se révolter contre l'introduction d'une machine économisant une partie du travail de main-d'œuvre.

Redouter les excès de la production; appréhender systématiquement les perturbations accidentelles qui accompagnent plus ou moins tout progrès matériel,—n'est-ce pas rendre le progrès lui-même impossible? n'est-ce pas reculer vers le passé, regretter les temps de civilisation primitive, où cent esclaves travaillant à tourner la meule, avaient peine à produire en une journée ce que la moindre de nos usines hydrauliques effectue sous la direction d'un seul ouvrier, dans le même temps?

Nous ne craignons pas d'ailleurs d'envisager sous leurs diverses faces les questions qui se présentent à nous. Celle qui nous occupe, sous le rapport économique, a dans ces derniers temps soulevé de vives controverses. Elle comprend deux termes: le développement de la population et celui des subsistances, liés l'un à l'autre par une loi assez naturelle pour qu'il soit nécessaire, ainsi qu'on l'a fait trop souvent, d'en analyser les causes secrètes.

Une personne à laquelle nous rattachent depuis longtemps les liens d'une sympathique et respectueuse déférence, nous reprochait dernièrement d'avoir qualifié en termes peut-être trop accentués les célèbres doctrines de Malthus. Nous avons été sensible à cette amicale observation, mais nous avons le regret de constater que les nouveaux arguments qui nous ont été fournis à cet égard n'ont pu modifier notre première opinion.

Il est possible que Malthus ne soit pas personnellement responsable de l'interprétation que certains de ses disciples ont cru devoir donner à ses idées ; mais en prenant sa doctrine à la lettre, dans la forme même où il l'a exposée, elle ne saurait nous inspirer autre chose qu'un sentiment de répugnance morale.

Nous comprenons, à la rigueur, la folie sublime de ces ascètes d'un autre âge qui, reculant devant les monstruosités d'une société corrompue, mouraient volontairement au monde, et ne vivaient plus que par l'esprit, dans l'attente d'une patrie céleste vers laquelle tendaient toutes leurs pensées. Mais nous ne saurions admettre la douce quiétude du pasteur protestant (Malthus était ministre de l'Église anglicane), honnête homme sans doute, bon père de famille peut-être, émargeant régulièrement le prix de ses sermons, apôtre convaincu des intérêts matériels, prêchant la contrainte morale, la continence dans le mariage au nom même de l'Évangile, qui a dit aux hommes : Croissez et multipliez.

Laissant de côté les sentiments de délicatesse naturelle qu'elle révolte, la doctrine de Malthus est encore, à nos yeux, plus fausse qu'immorale, et nous avons peine à comprendre l'honneur qu'on a fait au célèbre économiste de prendre au sérieux sa formule algébrique. Toute son argumentation repose en effet sur cette hypothèse arbitraire, que deux

progressions, l'une géométrique, l'autre arithmétique, représentent le développement de la population et des subsistances. Sur quelles données scientifiques repose cette prétendue loi positive ? C'est ce qu'il serait difficile de reconnaître. Dans l'Amérique du Nord, la raison de la progression géométrique serait $\frac{26}{25}$; en France elle atteint à peine $\frac{376}{375}$; dans les îles de la mer du Sud, elle est devenue inférieure à l'unité : la population décroît et disparaît, sans qu'on puisse attribuer ce résultat à la mise en pratique des conseils de l'économiste. Que peut signifier une progression géométrique dont nous voyons ainsi varier la raison avec les lieux et probablement avec le temps ? Il n'est d'ailleurs pas de motifs plus plausibles d'admettre que les subsistances croissent en progression nécessairement arithmétique.

Rien ne justifie donc ce prétendu rapport de logarithmes qu'on voudrait établir entre le développement de la population et celui des subsistances. Les relations qui existent entre ces deux éléments essentiels du progrès social tiennent à des causes trop complexes pour qu'on puisse songer à les plier aux lois rigoureuses de l'arithmétique.

Ce n'est point dans les abstractions des chiffres, mais dans les lois divines de la morale et du bon sens, qu'on doit chercher la solution d'un problème en tout cas beaucoup trop prématurément posé. Ce n'est point dans l'observation des règles d'une continence factice et contre-nature, mais dans la pratique de l'ordre, du travail, de toutes les vertus chrétiennes, que les peuples trouveront le bonheur et le développement social auquel ils doivent aspirer.

Dans l'état actuel, les neuf dixièmes du globe habitable

sont déserts ou plongés dans une abrutissante barbarie ; et, sur cette minime partie de notre vieux continent, où se sont réfugiés les germes d'une civilisation qui n'a pas encore trouvé à s'étendre, nous affirmons hautement, nous croyons l'avoir surabondamment démontré, qu'il est possible de faire vivre dans l'abondance des biens matériels, une population triple de celle qui s'y trouve aujourd'hui.

Lorsque nous sommes encore si éloignés du terme où la terre contiendra tous les enfants qu'elle peut nourrir, doit-on songer à ralentir l'œuvre déjà si lente du progrès social; peut-on poser les limites que la Providence a cru devoir lui assigner ? Tout en repoussant, en même temps que les conséquences économiques qu'on a cru pouvoir en déduire, la prétendue loi mathématique de Malthus, nous ne saurions disconvenir qu'il n'existe entre le développement de la population et celui des subsistances une sorte d'équilibre, équilibre de richesse ou de misère, suivant le cas, dépendant bien plus de l'état social d'une nation que de sa densité numérique. En thèse générale, le développement de la population et celui de l'agriculture sont solidaires; l'un ne peut s'accroître sans l'autre.

En France, où la production agricole reste à peu près stationnaire, l'accroissement annuel de la population est quinze fois moindre que dans les États-Unis et le Canada, offrant un champ de culture illimité au travail de l'homme.

Des circonstances accidentelles peuvent modifier les apparences de ce résultat normal, sans altérer l'exactitude de la loi providentielle qui le régit. Il est des peuples, le peuple Anglais par exemple, qui, par le développement industriel et commercial, peuvent suppléer à l'insuffisance de leurs ressources agricoles, qui savent accroître leur fécondité sociale en exploitant l'impuissance de leurs voi-

sins. Il en est d'autres, et les exemples en seraient trop nombreux, qui, par le fait de leurs institutions politiques, vivant dans l'ignorance ou l'anarchie, abrutis parfois par un despotisme énervant, s'abâtardissent sur un sol naturellement fertile qu'ils ne savent pas mettre en œuvre.

Nous resterons dans des conditions normales, à l'écart de ces deux extrêmes, en voyant ce qui se passe autour de nous. Nous trouvons en France une population sensiblement stationnaire [1], avons-nous dit, qui ne pourrait s'accroitre que tout autant que la masse des denrées alimentaires augmenterait d'autant.

[1] La population des 86 départements de l'ancienne France était:

En 1851, de.................	35 783 000
En 1861, de.................	36 717 000
Différence..........	934 000

Augmentation moyenne annuelle 93 400, soit environ $\frac{1}{375}$. Ce chiffre, déjà si minime, ne saurait être considéré cependant comme indiquant une amélioration permanente; il résulte uniquement d'une cause accidentelle, d'un accroissement de la longévité humaine. La vie moyenne, qui n'était que de 35 ans en 1840, atteignait 38 ans en 1860. (Léon; *De l'accroissement de la population en France.*) Le nombre des naissances, qui doit être la véritable mesure du développement de la population, loin d'avoir augmenté, paraît avoir plutôt diminué dans la même période. En prenant pour terme de comparaison la population masculine, nous trouvons dans une étude récente sur le problème de l'armée (*Revue des Deux-Mondes*, février 1867), les chiffres suivants pour la moyenne annuelle :

	Naissances.	Décès.	Augmentation.
De 1839 à 1842....	499 343	468 231	31 112
De 1843 à 1860....	492 338	427 673	64 665

L'accroissement de la population dans les deux périodes décennales n'est donc pas provenu d'une augmentation dans les naissances, mais d'une réduction dans les décès. L'amélioration de la vie moyenne, résultant des conditions nouvelles de l'état social, des meilleures habi-

Quelques améliorations de détail dans les procédés de culture ; une meilleure répartition des produits, résultant du perfectionnement des voies de transport, peuvent bien avoir à cet égard une certaine influence ; mais ces causes de progrès paraissent devoir être largement compensées par la tendance incessante des habitants des campagnes à se porter dans les villes.

On peut déplorer le fait, au point de vue de l'économie politique ou de la morale ; il n'en existe pas moins, et il nous paraît difficile qu'on puisse réagir contre lui. A vrai dire, pour notre compte, nous ne saurions le désirer. Si douce et si facile que paraisse la vie des champs dans les idylles, on ne saurait contester qu'elle ne soit parfois bien rude et bien misérable dans la réalité.

Les deux tiers de notre population sont plus ou moins exclusivement absorbés par le travail pénible d'assurer la subsistance de l'autre tiers. Si importante que soit l'industrie agricole, quelques charmes qu'elle puisse avoir d'ailleurs pour ceux qui s'y adonnent, n'y a-t-il pas exagération dans ce rapport ? Est-il naturel d'admettre que, dans une société parvenue au plus haut degré de civilisation, il faille consacrer une si forte part du travail commun à la satisfaction des besoins matériels de la vie animale ?

Le séjour des villes offre des ressources et des attraits qu'il n'avait pas autrefois. Il est naturel qu'il appelle à lui la population des campagnes, et ce déplacement se continuera jusqu'au jour où, par le fait même de la réduction des

tudes hygiéniques, ne saurait indéfiniment se développer. La vie humaine a des bornes qui seront fatalement atteintes, et nous devons prévoir le jour prochain où, la réduction des naissances n'étant plus compensée par une réduction plus grande des décès, la population entrera dans une ère de décroissement continu.

forces appliquées à l'agriculture, le salaire des travailleurs aura atteint un taux plus élevé et plus séduisant.

Cette transformation sociale se traduira par une moindre somme de travail agricole et de produits, d'où résultera une nouvelle réduction dans le chiffre de la population. La faiblesse du coefficient d'accroissement annuel est déjà l'indice certain de l'approche d'un temps d'arrêt, au-delà duquel commencerait une période décroissante, si les conditions du rendement agricole restaient ce qu'elles sont.

Or, ce que nous venons apporter, c'est précisément l'élément nouveau qui conciliera le besoin de bien-être des populations agricoles avec les nécessités du développement social. Nous n'avons pas seulement indiqué la possibilité de tripler les produits actuels; nous offrons encore les moyens d'obtenir les nouveaux produits avec des efforts beaucoup moindres.

Si 25 millions de créatures humaines, répandues sur toute la surface de notre territoire, sont plus ou moins indispensables pour assurer la production actuelle, un nombre bien moindre, deux millions d'individus au plus, sera suffisant pour obtenir une masse de subsistances égale à la première, sur une surface de 5 à 6 millions d'hectares de terres régénérées par les alluvions artificielles.

Ce résultat final ne sera pas acquis du jour au lendemain; il doit être forcément l'œuvre du temps. Le développement de la production agricole ne précédera pas, mais suivra naturellement celui de la population.

Le coefficient d'augmentation annuelle, qui se réduit sans cesse aujourd'hui, prendra peu à peu une marche ascendante. En admettant qu'il finisse par acquérir une valeur moyenne entre celles qu'il a actuellement en France et aux États-Unis, en l'évaluant à 1 020 environ, la population

serait doublée avant la fin du siècle. La même proportion se retrouverait, par hypothèse, dans la production végétale, en admettant qu'on ait mis progressivement en état normal de rapport 6 millions d'hectares de terrains fécondés par des alluvions artificielles. Le nombre seul des ouvriers agricoles n'aurait pas augmenté dans la même proportion, il se serait élevé de 23 à 25 millions; il ne représenterait plus 64, mais 35 p. °/₀ de la population totale.

Tel sera surtout, croyons-nous, l'un des principaux caractères de la réforme que nous proposons. En même temps qu'elle permettra un nouvel accroissement de la population, elle facilitera le déclassement que paraissent avoir rendu indispensable les progrès de notre état social; elle rendra relativement plus nombreuse la catégorie des consommateurs, tout en améliorant le sort de celle des producteurs. Une telle transformation ne peut avoir que des avantages au point de vue de l'intérêt général. Les véritables principes d'une sage économie politique doivent tendre bien plus à favoriser le développement relatif du bien-être de la population que son accroissement. C'est à cet égard surtout que l'humanité, dans son ensemble, aura beaucoup à espérer du succès de nos idées. S'en remettant sur un plus petit nombre du soin d'assurer la vie animale, elle pourra employer une partie relativement plus grande de ses forces vives aux travaux de l'industrie et de l'intelligence, aux développements d'intérêts moraux d'un ordre plus élevé que ceux qui ont uniquement trait aux besoins grossiers de l'existence matérielle.

CXLI.

Les questions d'économie agricole sont à l'ordre du jour. L'agriculture traverse une crise due à des causes complexes, donnant lieu à des plaintes nombreuses parfois peu fondées, souvent contradictoires, mais qui, dans leur ensemble, n'en témoignent pas moins d'un malaise réel.

Les réclamations principales paraissent émaner des producteurs. Ils se plaignent que le prix de vente des denrées agricoles ne soit pas toujours en rapport avec le prix de revient. Le mal paraît réel ; admettons qu'il le soit, les remèdes peuvent être de deux sortes : une réduction du prix de revient, ou une augmentation du prix de vente.

La production étant, par hypothèse, accidentellement supérieure aux besoins réels de la consommation nationale, on ne saurait éviter l'avilissement des prix que tout autant qu'on pourrait trouver ailleurs un débouché pour les excédants. S'il s'agit du blé, par exemple, nous pouvons à la rigueur fermer nos ports à ceux qui viennent de l'étranger, réserver à notre production tout le marché intérieur; mais, si cette réserve ne suffit pas, il ne saurait être en notre pouvoir d'imposer nos excédants aux nations voisines. En dehors de nos frontières, nous ne pouvons rien demander de mieux qu'un marché libre sur lequel nous aurons à lutter avec des rivaux. Nous ne l'emporterons sur eux que tout autant que nous pourrons livrer à plus bas prix. Or nous savons la chose impossible : les prix de vente de 1866, considérés comme si avilis qu'ils ont motivé une enquête agricole jusqu'ici sans résultat, n'en sont pas moins très-supérieurs à ceux de certains centres étrangers de production. C'est ainsi que l'Angleterre, qui annuellement importe 20 millions

d'hectolitres de blé, ne saurait nous le payer au prix, déjà insuffisant pour nous, de 16 à 17f l'hectolitre, lorsqu'elle en trouve à 8 ou 10f dans les régions avoisinant la Baltique ou la mer Noire.

L'amélioration du sort du producteur, tant qu'il y aura excès de produit sur la consommation intérieure, ne saurait donc résulter d'une augmentation dans le prix de vente; reste à voir s'il ne serait pas possible de diminuer en revanche le prix de revient, comparativement trop élevé chez nous. Un des principaux éléments de ce prix de revient est le salaire de l'ouvrier. Il a subi récemment une forte augmentation, par suite de la concurrence industrielle qui appelle dans les villes une partie de la population rurale. Le fait de ce déplacement est constaté par la statistique ; mais il ne s'ensuit nullement que les bras manquent à l'agriculture; ce qui le prouve, c'est que ses produits sont aujourd'hui trop abondants. Admettons en effet qu'on parvînt, par un moyen quelconque, à arrêter la population des campagnes, à retenir ou ramener les travailleurs sur le sol qu'ils abandonnent; il se produirait de deux choses l'une : les propriétaires useraient, sans réduction de salaire, du surcroît de main-d'œuvre qui leur serait fourni ; ou bien ils ne verraient dans ce supplément de force qu'un moyen de concurrence à établir entre les travailleurs, auxquels ils pourraient imposer ainsi de plus dures conditions. Dans le premier cas, la production, déjà trop considérable, croîtrait encore, et, les débouchés restant les mêmes , les prix de vente iraient toujours en s'avilissant, augmentant de plus en plus la gêne des propriétaires. Dans le second cas, le nombre des travailleurs étant supposé s'accroître, tandis que leur salaire total serait plus ou moins réduit, chacun d'eux gagnerait individuellement beaucoup moins qu'il ne gagne

aujourd'hui, et verrait diminuer ses conditions de bien-être actuel.

Quelques privilégiés, envisageant la question au point de vue trop exclusif de leur intérêt personnel, ne s'effrayeraient peut-être pas d'une telle perspective ; mais le Gouvernement, mieux éclairé, ne saurait considérer comme acceptable une solution qui se traduirait par une aggravation de souffrances et de misère dans la classe pauvre. On ne saurait envisager comme un but digne d'être poursuivi celui qui, en vue de rétablir un équilibre impossible, tendrait à ramener nos populations agricoles aux conditions d'existence dans lesquelles doit vivre le paysan Russe pour pouvoir produire du blé à 10f l'hectolitre.

Moralement, la solution consistant à réduire les salaires est inadmissible; pratiquement, elle est bien plus irréalisable encore ; car ce n'est pas avec la perspective d'une moindre rémunération qu'on peut espérer lutter contre la tendance qui écarte l'ouvrier du travail des champs. C'est donc ailleurs qu'il faut chercher un remède. Si la main-d'œuvre est plus chère chez nous que dans les autres pays producteurs, il faut en tirer un meilleur parti relatif, n'exiger d'elle que ce qui demande une certaine dépense d'intelligence; emprunter d'une part aux moteurs économiques la majeure partie de la force brute mise en jeu, et d'autre part obtenir le maximum de produit d'un travail donné.

L'abaissement du prix de revient peut en effet provenir d'une double transformation dans les engins et dans les procédés de culture. Nous avons vu (XCVIII) pour quelles causes l'emploi des machines était jusqu'ici resté sans résultats dans la pratique agricole. Tous les éléments d'une exploitation industrielle sont solidaires. Il est tout aussi difficile d'appliquer les moteurs à vapeur, dans les conditions

ordinaires du sol inégal et morcelé, qu'il le serait de faire mouvoir les locomotives et les wagons de marchandises sur nos routes de terre, ou de mettre en jeu, par l'intermédiaire d'une locomobile, les anciens métiers de tisserands disséminés dans les habitations d'un village. Le sol doit être subordonné à la machine plutôt que la machine au sol, et ce qui paraît irréalisable dans l'état actuel de la propriété arable, deviendrait au contraire une chose facile et pratique sur un sol neuf, régulier, convenablement aménagé pour sa nouvelle destination, tel qu'on pourrait le constituer sur les déserts de la Camargue ou sur ceux des landes de Gascogne, dessalés dans le premier cas, amendés dans le second, par les moyens que nous avons exposés.

A ce point de vue, les frais mécaniques, élément important du prix de revient, peuvent être réduits des trois cinquièmes ou tout au moins de moitié. Mais cet élément n'est pas le seul, et on peut espérer de bien plus grands résultats en augmentant l'intensité productive, en obtenant un rendement plus fort pour une même dépense de travail. L'avilissement du prix de vente n'est que relatif au prix de revient. Tel producteur qui se trouverait en perte en récoltant 15 hectolitres de blé vendus à 17f, se trouverait au contraire en bénéfice si, sans nouveaux frais, du même champ il pouvait retirer 20 ou 25 hectolitres à 14f.

C'est dans cette voie, vers le progrès de la culture intensive, que se sont portés tous les efforts, qu'ont été dirigées toutes les recherches tendant à augmenter la production par le perfectionnement des engrais.

La question des engrais a une grande importance; mais, telle qu'elle est posée de nos jours, elle constitue un cercle vicieux. Sauf de trop rares exceptions qu'il serait inutile de citer, sauf quelques amendements, tels que le guano, qu'on

apporte à grands frais du dehors et dont la quantité exploitable est forcément très-limitée, le système des engrais consiste, chez nous, à restituer au sol le plus possible des débris ou des déjections de ses produits naturels ; mais, une grande quantité de ces matières fécondantes étant nécessairement perdue, il est impossible que la partie reçue par le sol ne soit pas, en somme, inférieure à la quantité enlevée par les récoltes. Il y a donc là forcément une pétition de principes, une cause permanente de dégénérescence agricole, si nettement signalée par M. de Liebig dans ses *Études sur les lois naturelles de l'agriculture*.

Nous avons vu que les engrais étaient de deux sortes : les engrais organiques provenant de l'atmosphère, que certains végétaux peuvent reproduire par une assimilation directe,—dont le développement ne doit être pour l'agriculture qu'une question d'assolement ; les engrais minéraux, qui viennent du sol, qui sont soumis à une cause permanente d'épuisement, contre laquelle on ne peut lutter que par des apports extérieurs. C'est dans ce but qu'on exploite parfois à grands frais, pour les mélanger au sol arable, certaines formations géologiques telles que les marnes, les phosphates fossiles, les argiles feldspathiques, etc. Mais, quels que soient les progrès accomplis dans ce sens, les résultats sont malheureusement loin d'être partout satisfaisants, soit que les matières employées coûtent trop cher, soit que les éléments utiles se trouvent dans un état de combinaison chimique qui les rende inefficaces.

Notre théorie des alluvions artificielles se rattache surtout à cette question ; notre but est de répandre sur d'immenses étendues de terrains le complément nécessaire du sol végétal, en amendements minéraux, plus pauvres peut-être, quant aux résultats de l'analyse chimique, que ceux

que l'on exploite habituellement par les procédés ordinaires; mais rachetant cet inconvénient par leur grande abondance, leur faculté d'assimilation immédiate, et, par-dessus tout, par leur prix de revient incomparablement réduit.

Nos principes à cet égard ne reposent pas sur une vague conception théorique, mais sur des bases positives et incontestables consacrées par l'adhésion d'un des princes de la science.

« Vous pouvez être certain », nous a écrit l'illustre président de l'Académie des sciences de Munich, « que les alluvions de marnes et d'argiles feldspathiques que vous ferez descendre dans les Landes, formeront un sol arable et très-fertile. La végétation commence avant l'accumulation des matières organiques. Vous aurez d'abord des prairies qui n'ont pas besoin d'engrais, et, si vous avez du foin et des fourrages, vous aurez du blé et tous les autres produits agricoles. » (J. Liebig, 25 janvier 1865.) — Une si haute et si explicite approbation nous dispense d'insister davantage sur ce point.

Telles sont les conditions nouvelles de facile exploitation industrielle et de qualité supérieure du sol arable, dans lesquelles les landes de Gascogne et l'ensemble des vastes plaines diluviennes réparties autour de nos montagnes, jusqu'ici à peu près étrangères à la production végétale, seront appelées à y participer à l'avenir. Nous resterons bien certainement à l'écart de toute exagération, en admettant que les terres ainsi obtenues sur le sol des Landes seront égales, comme puissance de production, aux bonnes terres arables d'une valeur de 5 000f l'hectare, donnant dans un état convenable de culture un rendement annuel de 30 hectolitres de blé. Le prix de revient sur de semblables terrains peut, pour le moment, s'établir moyennement comme suit :

Intérêt du capital foncier	250 f
Labours et hersages, trois façons à 30f	90
Engrais	60
Semences	54
Frais de récolte, etc	40
Direction, frais généraux et faux frais	56
Total	540 f

soit 17f pour une production moyenne de 30 hectolitres.

Par l'emploi de nos procédés appliqués en particulier aux landes de Gascogne, l'hectare de terre, d'une valeur originelle de 100f, après amendement, à raison de 500m de limons par hectare, tous frais d'aménagement du sol, bâtiments d'exploitation, cheptel, outillage compris, reviendra au plus à 1 000f. Les frais d'exploitation se trouveront de moitié inférieurs à ceux des terrains que nous venons de prendre pour type des bonnes terres actuelles. Le produit sera tout au moins égal en quantité. Le prix de revient pour 30 hectolitres pourra donc s'établir ainsi :

Intérêt du capital foncier	50 f
Labours et façons	45
Engrais (chiffre probablement trop fort)	60
Semences	15
Frais de récolte réduits par les machines	30
Frais généraux	20
Total pour 30 hectolitres	210 f

soit 7f par hectolitre.

La réduction du prix de revient sera de 10f environ par hectolitre, et ce résultat nous paraît être la véritable solution du problème actuellement posé par la crise agricole.

En produisant des blés à 17f l'hectolitre (et ce que nous disons du blé nous pourrions le dire de toute autre denrée),

nous sommes forcément obligés de les consommer sur place. Toute exportation se trouve interdite; le marché n'a aucune élasticité, et les prix sont soumis à toutes les fluctuations qui résultent du plus ou moins d'abondance d'une récolte annuelle. Si une circonstance accidentelle augmente momentanément la production (nous n'en avons vu que trop d'exemples), les prix s'avilissent, le producteur se décourage et réduit ses cultures; vienne au contraire une ou plusieurs années de stérilité, et nous sommes forcés de demander à l'extérieur le déficit qui nous manque. Les conditions seront toutes différentes le jour où le prix de revient s'abaissera considérablement chez nous. Tous les marchés du globe, qui nous sont fermés à la vente, nous seront ouverts, et la production pourra se développer bien au-delà des besoins réels de notre consommation.

Vainement on voudrait nous objecter que, la même réduction pouvant être obtenue en tout autre pays, les conditions resteraient relativement ce qu'elles sont aujourd'hui. En premier lieu, toutes choses égales d'ailleurs, la nation chez laquelle la main-d'œuvre est aujourd'hui la plus chère, aurait respectivement plus à gagner à la combinaison qui réduirait davantage l'influence proportionnelle de cet élément du prix de revient. En second lieu, la France se trouve exceptionnellement favorisée, quant à sa configuration géologique, pour le répandage des alluvions artificielles à opérer sur une très-grande échelle. L'Italie, quelques parties de l'Espagne et de l'Allemagne méridionale, pourraient peut-être lutter avec elle sous ce rapport; mais tout le nord de l'Europe, l'Angleterre, les versants de la mer du Nord et de la Baltique, se trouveraient par rapport à nous dans des conditions très-inférieures. D'autre part, enfin, la transformation projetée nécessiterait une première avance de

capitaux et un esprit d'initiative que nous rencontrerons chez nous plus que partout ailleurs.

La France pourra avoir plus tard des émules dans la nouvelle voie que nous indiquons ; mais jamais elle ne saurait être dépassée, et pendant très-longtemps encore elle conservera une grande suprématie agricole sur toutes les autres contrées de l'Europe. Elle sera en agriculture ce que l'Angleterre est en industrie : le grenier d'abondance où toutes les nations voisines viendront s'approvisionner. Elle maintiendra ainsi sa position prépondérante, plus que jamais nécessaire au milieu des transformations politiques que le développement naturel des sociétés et des idées rend chaque jour plus complètes.

Sa population s'accroîtra sans doute, mais bien plus lentement que sa production agricole ; et nous devons considérer comme bien éloigné de nous le moment où ces deux termes s'équilibreront, où notre sol portera précisément la quantité d'êtres humains qu'il est susceptible de nourrir, en mettant à profit la masse inépuisable d'amendements minéraux que recèlent les flancs de nos montagnes.

CXLII.

Nous ne nous dissimulons pas l'objection qui attend ce développement philosophique de nos idées. Les propriétaires se plaignent des conditions difficiles dans lesquelles ils se trouvent, faute de pouvoir vendre leurs produits à un taux rémunérateur. Il pourra paraître étrange de proposer une combinaison qui, loin d'améliorer leur sort, les mettrait en présence d'une concurrence écrasante, contre laquelle toute lutte serait impossible. On reprochera sans doute à notre projet de constituer, en même temps qu'une création

nouvelle, un déplacement de la fortune publique; de consacrer, en fin de compte, la ruine des possesseurs du sol arable actuel au profit des possesseurs du nouveau sol, qui serait assis sur des terrains aujourd'hui médiocres ou sans valeur.

La question paraît délicate et mérite d'être étudiée avec plus de soin. En premier lieu, la crise dont tout le monde se plaint, existe réellement. Nous ne venons pas la créer, mais la résoudre. Elle touche à l'intérêt général de la société bien plus encore qu'aux intérêts privés des producteurs. Si les conditions respectives se maintenaient ou s'aggravaient, il en résulterait forcément une réduction dans le rendement agricole, qui, momentanément, en temps d'abondance, descendrait au niveau des besoins de la consommation intérieure, qui se trouverait bientôt au-dessous, en présence d'une ou de plusieurs mauvaises récoltes.

Un ralentissement dans la production donnerait sans doute une satisfaction apparente aux griefs des propriétaires. Employant moins de main-d'œuvre, ils pourraient plus facilement imposer leurs conditions aux travailleurs, devenus trop nombreux. Les salaires diminueraient, et l'on verrait par contre, chaque jour, se développer davantage cette tendance qui attire les habitants des campagnes vers les industries des villes. Sans admettre les lois prétendues mathématiques de Malthus, on ne saurait contester le parallélisme qui existe entre le développement de la population et celui de la production agricole. Si les conditions économiques de notre état social déterminaient une réduction permanente dans les denrées alimentaires, la population deviendrait bientôt stationnaire et finirait par décroître. Nous sommes déjà, à peu de chose près, dans la première phase de cette période. Tout nous montre que la seconde approche. Il y

a donc intérêt général à ce que la production se développe largement, et nous venons de voir le rapide essor qu'elle peut prendre par l'application de nos principes.

Résulterait-il quelques froissements de la réforme agricole que nous proposons, qu'il faudrait s'y soumettre. Les intérêts individuels ou privés doivent parfois céder aux nécessités dominantes de l'intérêt général : *Salus populi, suprema lex.*

Où en serions-nous aujourd'hui, si la crainte de nuire aux industries existantes nous avait engagés à repousser toute amélioration industrielle, à nous passer de filatures mécaniques ou de chemins de fer? Ce qui s'est produit en industrie doit se produire en agriculture. Si l'ouvrier Anglais, payé trois ou quatre fois plus que l'ouvrier Hindou ou Chinois, peut cependant fabriquer à meilleur marché que lui, inonder le monde de ses produits, il ne le doit qu'au perfectionnement de l'outillage mécanique qu'il met en œuvre et qui décuple ses forces. Pareille réforme est indispensable, si nous voulons que l'agriculteur Français puisse lutter contre le serf de Russie ou le fellah d'Égypte.

Dans le mouvement social qui s'opère, les nations ne sauraient s'isoler. Les vieilles entraves du système protectionniste tombent de toute part; les marchés nationaux s'ouvrent aux étrangers ; le maintien de notre supériorité n'exige pas seulement que nous soyons en état de nous défendre chez nous, mais que nous sachions encore soutenir la lutte au dehors. Ce résultat ne peut être obtenu, en agriculture, que par une transformation radicale, qui, à dépense égale de main-d'œuvre, diminue énormément le prix de revient. C'est là une idée élémentaire, dont l'évidence ressort de plus en plus. En principe, il n'est pas d'autre solution ; en fait, il n'est pas d'autres moyens pratiques que ceux que nous proposons.

Toute réforme amène des perturbations. Il ne faudrait pourtant pas s'exagérer l'importance de celles que la nôtre peut avoir. Elle ne serait, en aucun cas, immédiate ; et, finalement, loin d'être une cause de ruine pour la propriété agricole existante, elle serait pour elle un vigoureux stimulant qui, seul, peut la faire rentrer dans la voie du progrès. Éclairés par les résultats obtenus autour d'eux, s'inspirant des nouvelles méthodes de culture qu'ils auraient sous les yeux, les propriétaires actuels n'abandonneraient pas leurs terres, par le motif qu'on en aurait créé de meilleures dans leur voisinage.

Par la constitution de la grande propriété, l'association des intérêts privés en un seul faisceau, ils arriveraient à reprendre ou à conserver leurs anciens avantages, à marcher de pair avec les nouveaux producteurs, sinon à leur tête.

Notre sol, aujourd'hui morcelé par l'homme autant que par la nature, se transformerait en usines agricoles. La propriété territoriale, un moment ébranlée, se reconstituerait sur des bases toutes nouvelles, et trouverait dans l'association des capitaux, l'exploitation en commun, le perfectionnement des procédés mécaniques de culture, les seuls moyens qu'elle puisse avoir de réduire ses prix de revient et de lutter avec avantage contre la concurrence étrangère, non-seulement sur notre marché national, mais sur ceux du monde entier.

L'extension que nous venons de donner aux conséquences économiques de l'emploi des alluvions artificielles paraîtra sans doute, aux yeux de bien de gens, empreinte d'une certaine exagération. Nous devons nous attendre à ce reproche banal. Parmi les idées les plus fécondes, il n'en est aucune qui ne l'ait encouru au début. Le temps seul pourra faire

justice des doutes ou des méfiances irréfléchies que notre projet pourra rencontrer. Quelle sera la durée de sa période d'incubation? combien s'écoulera-t-il de mois, d'années, de siècles, si l'on veut, avant que notre conception théorique passe dans le domaine des faits? Nul ne saurait le dire, nous moins que tout autre, car notre opinion personnelle pourrait paraître suspecte de partialité.

Du point de vue où nous nous sommes placé, peu nous importent les délais. Une tâche nous était dévolue : celle d'exposer la partie pratique et économique de notre idée. Nous l'avons remplie de notre mieux, comme un devoir de conscience. A d'autres appartiendra le soin de continuer notre œuvre, si personnellement nous sommes impuissant à la mener plus loin.

S'il ne nous est pas donné de voir se réaliser sous nos yeux la grande transformation agricole que nous venons d'exposer, qu'il en soit à la volonté de Dieu. Nous saurons d'autant mieux nous résigner à ne remplir qu'un rôle effacé dans l'armée militante du progrès, que nous avons déjà trouvé en nous-même la plus douce récompense de nos efforts.

Les émotions que nous avons ressenties le jour où, pour la première fois, nous avons vu, dans l'avenir, le désert stérile des Landes se couvrir de moissons et de prairies, ont compensé pour nous bien des déceptions, nous ont consolé de bien des sarcasmes et des railleries.

Désintéressé dans le succès, n'en attendant aucun avantage personnel, c'est surtout à un point de vue de bien-être général que nous serions heureux de voir nos idées se réaliser. Si elles sont justes, et naturellement nous les croyons telles, puisse la France en profiter la première; puisse-t-elle, se maintenant à la hauteur de son passé, prendre l'ini-

tiative de la réforme agricole basée sur l'application rationnelle des méthodes naturelles ! La question est pour elle de la plus grande importance, car une nation qui reste stationnaire dans le mouvement général est par cela même en décadence ! si haut qu'elle soit au début, elle ne tarde pas à descendre du premier rang !

Les considérations matérielles ne sont pas d'ailleurs les seules qui doivent préoccuper un peuple et l'engager à s'avancer hardiment dans la voie du progrès ; les conditions de son indépendance et de sa liberté lui en font une loi plus rigoureuse encore. La force brutale a toujours joué, et il est à présumer qu'elle continuera longtemps à jouer un grand rôle dans les destinées du monde. Si nous voulons rester forts et respectés, nous devons être relativement les plus nombreux. Tandis que la population est devenue chez nous à peu près stationnaire, en moins d'un demi-siècle elle a augmenté de moitié en Allemagne ; elle a doublé en Russie.

La France qui, par le chiffre de ses habitants, occupait le premier rang au siècle dernier, est menacée de n'avoir plus que le troisième, sans être certaine de le conserver.

Il y a dans cette situation un danger réel. Nous ne sommes plus au temps où une petite armée bien dirigée pouvait tenir l'Europe en échec. Dans les conditions actuelles de notre état social et de nos voies de transport, toutes les forces disponibles d'une nation peuvent être rapidement, au jour du combat, accumulées sur un même point, où la victoire finit toujours par rester aux plus gros bataillons.

La position d'infériorité relative dans laquelle nous nous trouvons placés finirait par devenir critique, non-seulement pour la France, mais pour les peuples de race latine, qui se groupent autour d'elle, si le mouvement de la population,

arrêté dans l'Europe occidentale, ne reprenait prochainement un rapide essor. Ce résultat, nous croyons l'avoir démontré, ne pourra être obtenu qu'à la condition d'avoir au préalable augmenté dans une large mesure le chiffre de notre production agricole et notablement abaissé le prix de revient des denrées alimentaires.

L'avenir est à ceux qui, produisant à la fois le plus de blé, l'obtiennent à des prix assez bas pour pouvoir non-seulement se passer de leurs voisins, mais leur vendre les excédants qu'ils ne peuvent consommer.

Ces conditions économiques, qui seules font aujourd'hui la force de la Russie, rien ne nous est plus facile que de nous les assurer plus favorables encore. Comme la Russie, nous pouvons obtenir un rendement agricole double ou triple de celui qui nous est actuellement nécessaire; comme elle, nous pouvons produire du blé à 10f l'hectolitre et même à moins. Ce résultat sera le fruit d'une simple réforme agricole, assurant à la fois notre prospérité pour le moment et notre puissance matérielle pour l'avenir.

L'histoire pourrait au besoin nous fournir de nombreux exemples à l'appui de la thèse que nous soutenons. Nous avons déjà cité celui de l'Espagne; nous pourrions invoquer également celui de l'ancienne Rome. Parmi les causes si nombreuses, si fréquemment étudiées, qui ont déterminé la décadence de l'Empire romain, un fait trop peu remarqué peut-être, et suivant nous décisif, fut l'état d'abandon dans lequel tomba l'agriculture en Italie après la conquête du monde connu : la nation mère, nourrie par les provinces, perdit toute force, toute initiative. L'Empire fut atteint dans ses forces vives, gangrené au cœur, et sa puissance s'évanouit comme un souffle au premier choc.

De tels exemples ne sauraient être perdus pour nous.

Nous assistons à une réorganisation générale des peuples de notre vieille Europe. La France a pris l'initiative du grand mouvement politique qui s'accomplit. Dans l'intérêt de tous, il importe qu'elle ne soit pas débordée ; et, pour qu'elle conserve son antique et légitime prépondérance, il est essentiel qu'elle donne l'exemple du progrès, en imprimant un rapide essor au développement de sa production agricole et de sa population. Il faut qu'elle apprenne à régner sur le monde plus encore par les arts et les produits de la paix que par la puissance des armes ! Il faut qu'elle devienne « la première par la charrue, si elle veut rester la première par l'épée » !

RÉSUMÉ GÉNÉRAL ET CONCLUSIONS

En ce qui concerne le projet principal de fertilisation des landes de Gascogne, par l'emploi des alluvions artificielles.

Notre tâche est accomplie. Dans l'exposé qui précède, nous avons développé toutes les questions qui se rattachent à l'hydraulique agricole, éclairant à mesure par des exemples les applications pratiques auxquelles nos recherches, théoriques paraîtraient devoir donner lieu.

Un fait saillant ressort surtout de cette longue étude : la possibilité de généraliser les bonnes terres végétales, aujourd'hui si clair-semées, par l'emploi de l'*alluvion artificielle*, manne fécondante appelée à devenir un jour pour l'agriculture ce que la houille est pour l'industrie.

La fertilisation des landes de Gascogne, par les facilités d'exécution, les résultats de l'entreprise, sera naturellement la première et la plus importante étape d'une transformation générale qui, s'étendant peu à peu sur un plus vaste territoire, triplera la production agricole de notre pays.

Notre but est surtout d'appeler sur cette œuvre particulière l'attention de ceux qui, lisant ce livre sans prévention, voudront y chercher plutôt les éléments d'une conviction sérieuse et réfléchie, qu'un facile prétexte de critique de parti-pris. C'est en vue de faciliter les recherches du lecteur sur cette question principale, que nous avons cru devoir dégager dans les quelques pages qui suivent, sous la forme

d'un résumé analytique, renvoyant pour les détails au corps de l'ouvrage, tout ce qui se rattache à la fertilisation des Landes, comme principes théoriques, détails techniques du projet, voies et moyens d'exécution, résultats économiques et financiers de l'entreprise.

§ 1er. Théorie du sol végétal.

1 (I, V).

Un bon sol végétal doit sa faculté productive à la nature des amendements organiques et minéraux qu'il contient, et à sa constitution physique.

2 (II, III).

Les amendements ou engrais *organiques* nécessaires au développement des plantes, proviennent originairement de l'atmosphère et peuvent être reconstitués directement par certaines espèces végétales, notamment par les plantes fourragères. Leur reproduction en quantité indéfinie n'est qu'une question pratique d'assolement facile à résoudre par l'agriculture.

3 (IV, VIII).

Les amendements *minéraux*, au contraire, doivent exister naturellement dans le sol ou y être apportés de main d'homme.

Au point de vue pratique, ces amendements peuvent être considérés comme se trouvant généralement en quantité suffisante dans les deux éléments actifs les plus essentiels du sol végétal, qui sont l'*argile* et le *calcaire marneux*.

L'argile, provenant de la désagrégation des feldspaths naturels, apporte avec elle en effet la silice, l'alumine, le fer, la potasse, etc. Le calcaire marneux, produit par la

destruction des calcaires sédimentaires, contient les sulfates, les phosphates, la magnésie, le chlorure de sodium, etc.

4 (VI, VIII).

Ces deux composantes principales, l'argile et le calcaire marneux, en général suffisantes au point de vue de leur composition minérale, ne sauraient cependant à elles seules former une bonne terre végétale. Au point de vue de la constitution physique, un troisième élément est indispensable pour s'opposer par son action divisante à la tendance que l'argile et le calcaire, pris isolément, ont à s'agréger à l'état de marne compacte et imperméable.

Cette matière complémentaire est habituellement le *sable quartzeux*, mais peut être suppléé par toute autre substance minérale et même organique, jouant le même rôle.

5 (VIII).

En thèse générale, on peut dire que la *terre végétale est un mélange en proportions variables d'argile, de marne calcaire et de sable quartzeux, ou toute autre matière inerte ayant les mêmes propriétés divisantes.*

Tous les terrains meubles qui contiennent ces trois éléments en quantité convenable, constituent ou sont susceptibles de constituer, par le fait de la culture, de bonnes terres végétales.

Toute terre à laquelle manque un de ces trois éléments, principalement l'argile ou le calcaire marneux, ne peut devenir végétale que tout autant qu'on lui apporte du dehors le complément minéral qui lui fait défaut.

§ 2. — Théorie des alluvions artificielles.

6 (XXIII, XXIV, LXXVI).

Les bonnes terres végétales doivent pour la plupart leur origine à l'action des eaux courantes. Les troubles charriés par les torrents contiennent en effet les trois grandes composantes du sol végétal : le calcaire marneux et l'argile à l'état de *limons* en suspension dans la masse du courant, la matière inerte à l'état de *sables quartzeux* entraînés par glissement et roulant sur le fond du lit.

7 (LXXVII, LXXVIII, LXXXV).

La géologie nous apprend[1] que la surface du sol, en France, se compose pour plus de moitié de terrains sédimentaires ou diluviens formés par les dépôts de matières minérales charriées par les courants permanents, ou les courants accidentels qui à diverses époques ont remanié la surface du globe.

Des convulsions géologiques postérieures ont parfois interrompu la continuité de ces formations géologiques ; mais, pour les plus récentes, celles qui appartiennent aux terrains quaternaires et tertiaires, la continuité subsiste le plus souvent, et une ligne de faîte non interrompue rattache toutes les formations des plateaux inférieurs et des vallées d'un même bassin aux gorges des montagnes qui leur ont originairement donné naissance.

8 (LXXIX).

Ces principes admis, l'idée se présente naturellement de remonter aux sources primitives pour reconstituer ces ter-

[1] Dufrénoy et Élie de Beaumont; *Description de la Carte géologique.*

rains au point de vue agricole, en établissant des torrents artificiels qui, partant des montagnes et suivant les pentes naturelles de faîte, viendront apporter en chaque point du bassin sédimentaire la quantité d'alluvion nécessaire pour en régénérer ou compléter le sol végétal.

9 (LXXX).

L'installation et la mise en jeu d'un torrent artificiel doivent comprendre les opérations suivantes :

Alimentation régulière du torrent ;

Désagrégation des matières minérales devant constituer l'alluvion ;

Transport de l'alluvion végétale ;

Répandage à la surface du sol à fertiliser.

10 (XII, LXXX).

Les régions de montagnes sont en général sujettes à des pluies fréquentes. Les cours d'eau qui les sillonnent ont un débit considérable suffisant pour alimenter, sinon pendant toute l'année, tout ou moins pendant une période de plusieurs mois, des dérivations qui seront amenées à peu de frais sur les massifs sédimentaires les plus élevés, étagés sur les flancs de la chaîne principale.

11 (LXXX, LXXXI).

Ces dérivations fourniront la force motrice nécessaire aux divers effets mécaniques de désagrégation, de transport et de répandage.

Les matières minérales à employer seront de préférence choisies parmi les couches d'argile et de marne, déjà meubles et à demi désagrégées. Leur éboulement pourra être obtenu de plusieurs manières, mais plus habituellement

par la méthode d'abattage au jet d'eau, employée dans des circonstances analogues par les mineurs américains, pour soumettre au lavage les terrains aurifères de la Californie.

12 (LXXXI).

Les matières minérales éboulées seront reçues dans un canal muraillé, à grande pente, dans lequel s'opérera un premier débourbage ayant pour effet de mettre en suspension les limons argilo-calcaires et de les séparer des galets, cailloux et sables quartzeux. Ces dernières matières, d'un transport plus difficile, seront évacuées, avec une légère perte d'eau, par des bondes de fond, et cantonnées en vastes amas sur des emplacements convenablement choisis dans le lit des ravins avoisinant la ligne de faite.

13 (LXXXII).

Les eaux limoneuses ainsi débarrassées des matières caillouteuses seront transportées dans un canal muraillé à section régulière, suivant la pente uniforme de la ligne de faîte des terrains à améliorer.

14 (LXXXIII, CXXXV).

La quantité de limons que peut charrier un courant est en quelques sorte illimitée. Le canal de Marseille, dérivé de la Durance, qui n'a qu'une pente de $0^{m},33$ par kilomètre et n'a pas été établi avec toutes les conditions nécessaires pour aménager une vitesse régulière, charrie parfois jusqu'à 4 et 5 p. °/₀ du volume de ses eaux en limons, et en charrierait bien davantage si la Durance les lui fournissait. Ces limons se maintiennent constamment en suspension sur un parcours de près de 100 kilomètres. Non-seulement ils ne forment aucun atterrissement dans le lit du canal,

mais ils accompagnent ses eaux dans les plus petites rigoles, suivant leurs sinuosités les plus irrégulières, remontant dans les conduites forcées de distribution, sans jamais les obstruer, tant que l'écoulement libre des eaux se maintient avec une vitesse même très-inférieure à celle du canal qui atteint à peine $0^m,75$ par seconde.

15 (CXXXV).

L'exemple du canal de Marseille, les expériences directes faites par l'auteur du projet au bassin de Ponserot, prouvent de la manière la plus convaincante que les canaux projetés pour le transport spécial des limons pourront en entrainer, au *minimum*, 5 p. °/₀ du volume de leurs eaux, si la vitesse est de $0^m,75$, et beaucoup plus encore, si la vitesse est supérieure à cette limite.

Rien ne sera donc plus facile que de maintenir ces limons en suspension, non-seulement dans le canal muraillé suivant la ligne de faîte principal, mais dans les rigoles de deuxième et troisième ordre qui porteront les eaux troubles sur les terrains à féconder.

16 (LXXXII, CXXVII).

Le répandage des limons arrivés au lieu d'emploi se fera de la manière la plus simple, en recevant les eaux troubles dans des compartiments sensiblement horizontaux, clos de planches ou de bourrelets de terre, où s'opérera leur dépôt.

§ 3. — Fertilisation des landes de Gascogne.

17 (CXVIII).

La première application pratique des principes théoriques que nous venons de résumer, pourrait servir à la fécondation des landes de Gascogne.

Les landes de Gascogne forment un plateau de 1 200 000 hectares s'inclinant d'une manière uniforme, vers la mer d'une part, vers la Garonne de l'autre, à partir d'un point culminant qui se trouve près la petite ville de Captieux, à la cote 130^{m}.

18 (CXXI, CXXII).

Le sol des Landes est exclusivement formé de sables quartzeux. Il constitue un immense désert réfractaire à toute culture, que l'on ne pourrait fertiliser qu'à la condition de lui fournir une quantité d'argile et de calcaire marneux suffisante non-seulement pour lui donner les éléments minéraux propres au développement de la végétation, mais pour modifier complètement sa constitution physique.

19 (CXXIII).

Le plateau des Landes se rattache par une ligne de faîte continue au plateau de Lannemezan, adossé lui-même aux contreforts des Pyrénées.

Une dérivation déjà existante conduit sur le plateau de Lannemezan, à la cote 630^{m}, les eaux de la rivière de la Neste.

20 (CXXIV, CXXV).

Cette dérivation n'a, jusqu'ici, rendu que peu de services ; mais il sera facile et peu coûteux de la mettre en état de débiter 14^{m} d'eau par seconde.

Les observations faites sur le débit de la Neste démontrent que, tout en faisant une large part aux besoins industriels et agricoles qui sont ou pourraient être desservis par les eaux de la Neste, on pourra prélever sur le débit de cette rivière, pendant une moyenne de huit mois, un excédant de 10 mètres cubes par seconde, qui alimentera le canal des Landes.

21 (CXXIII).

Les collines qui rayonnent dans tous les sens autour du plateau de Lannemezan fourniront, dans les meilleures conditions désirables, les éléments propres à constituer l'alluvion végétale. Elles sont toutes uniformément composées d'un noyau de marnes tertiaires susceptibles de fuser dans l'eau, recouvertes par une épaisse formation d'argiles diluviennes.

22 (CXXVI).

Ces collines, d'une hauteur de 60 à 80^{m}, pourront être sapées à leur base par de puissants jets d'eau entretenus par la dérivation supérieure.

Les eaux mélangées au produit de cette dislocation seront reçues dans un canal de débourbage qui, sur une longueur de 8 kilomètres, n'aura pas moins de 100^{m} de pente.

23 (CXXVII).

Ce premier canal atteindra la ligne du faîte principal à la cote de 350^{m} près de Villemblitz, en restant supérieur de 50^{m} au niveau de la vallée du Boués, rivière qui longe ce faîte.

Des bondes de fond rejetteront en ce point et emmagasineront les galets et cailloux quartzeux résidus du débourbage, qui ne paraissent pas entrer pour plus de 8 à 10 p. °/₀ dans la masse des terrains à désagréger.

24 (CXXVII).

Les eaux du canal débarrassées de tous galets, chargées de limons à saturation, seront reçues dans un canal muraillé, à section régulière, qui, après avoir suivi la ligne du faîte principal jusqu'à Captieux, devra, en ce point, se diviser

en deux autres canaux, dont l'un suivra le faîte des grandes Landes dans la direction de Morcenx, dont l'autre se continuera jusqu'à la pointe de Grave.

25 (CXXVII, CXXVIII).

Le canal de la grande ligne du faîte entre Villemblitz et Captieux aura une pente moyenne ou uniforme de 1m,50 par kilom.; celui des grandes Landes une pente de 0m,80, soit 4 fois 1/2 et 2 fois 1/2 la pente du canal de Marseille, qui avec le même débit charrie 4 et 5 p. °/₀ de limons.

Cette proportion peut donc être considérée comme un minimum qui, au point de saturation, sera très-certainement dépassé de plus du double, non-seulement dans le canal principal, mais dans les canaux de deuxième et troisième ordre, distribuant les limons sur tous les versants des Landes, en suivant la ligne de plus grande pente du terrain, qui n'est nulle part de moins de 1m par kilomètre, trois fois la pente du canal de Marseille.

26 (CXXVIII).

En admettant un minimum de 5 p. °/₀, inférieur de moitié à la réalité probable, le canal des Landes, fonctionnant pendant huit mois, pourra conduire un cube de 12 millions de mètres de limons qui, à raison de 500m par hectare, suffiront à fertiliser annuellement 24 000 hectares de landes.

27 (CXXVIII).

Le limon, répandu par couches de 0m,05 à la surface du sol, sera mélangé par une série de labours convenables avec une épaisseur de 0m,20 à 0m,30 de sables quartzeux. Le résultat constituera une excellente terre végétale, qui dès le début sera propre à toutes les cultures fourragères.

28 (CXXIX).

L'ensemble des travaux que nous venons d'énumérer, provisoirement restreint au canal des grandes Landes, embrassant un périmètre de plus de 700 000 hectares, occasionnera une dépense de 14 millions en frais de premier établissement. Cette somme devrait être augmentée de 5 millions, si l'on voulait poursuivre la deuxième branche du canal de colmatage jusqu'à la pointe de Grave.

29 (CXXIX).

Les frais annuels de service et d'entretien du canal, comprenant la désagrégation, le transport et le répandage des limons, s'élèveront à une somme de 1 100 000f, qu'il faudrait porter à 1 800 000f, en tenant compte des intérêts du capital de premier établissement.

A ce prix, ne dépassant pas 75f par hectare fertilisé, on obtiendra, non pas une amélioration éphémère, mais une transformation radicale et complète du sol, qui du jour au lendemain passera de l'état de lande inculte à l'état de terre végétale de premier ordre.

§ 4. — Voies et moyens.

30 (CXXXVII).

Théoriquement, l'exécution des travaux pourrait être faite par l'État, par les propriétaires réunis en association syndicale, ou par une Compagnie. Cette dernière solution paraîtrait la plus pratique.

31 (CXXXVII).

La Compagnie concessionnaire, en même temps qu'elle livrerait aux particuliers, suivant un tarif déterminé, les limons nécessaires à la fécondation de leurs héritages, opérerait pour son propre compte l'exploitation agricole

Digitized by Google

d'une certaine étendue de terrains, dont elle aurait acquis la possession, soit à l'amiable, soit à titre de part dans la plus-value produite sur les terrains communaux ou privés, par extension du principe posé par les lois du 16 septembre 1807 et 28 juillet 1860.

32 (CXXXVII).

Les résultats financiers de cette exploitation agicole seraient d'autant plus avantageux pour la Compagnie concessionnaire, que, opérant sur un sol entièrement neuf, sensiblement horizontal, sans morcellement d'aucune espèce, elle pourrait le distribuer et le découper dans les meilleures conditions possibles pour permettre l'emploi des moteurs inanimés aux travaux agricoles, ce qui réduirait de moitié le prix de main-d'œuvre.

33 (CXXXVII).

Les conditions auxquelles la Compagnie concessionnaire obtiendrait le droit d'exploiter le canal de fertilisation des Landes seraient arrêtées de concert avec l'Administration, et paraîtraient provisoirement pouvoir porter sur les bases suivantes :

1° Concession définitive, à perpétuité ou pour 99 ans, du canal principal de limonage et des canaux secondaires d'alimentation et de distribution, embrassant le périmètre du plateau des grandes Landes, d'une superficie de 700 000 hectares ;

2° Concession éventuelle, pouvant devenir définitive, au gré de la Compagnie, dans un laps de temps déterminé, du prolongement du canal de limonage sur les landes de la Gironde, par la construction du canal de Captieux à la pointe de Grave, desservant une superficie de 500 000 hectares ;

3° Abandon à la Compagnie concessionnaire du canal de dérivation de la Neste et de toutes ses dépendances, à la charge par elle de le restaurer et de l'achever de telle sorte qu'il puisse suffire à un débit régulier de 14 mètres cubes par seconde, sous réserve de laisser librement couler en tout temps, dans le lit de la Neste, un certain minimum de débit, et de prélever sur le volume de la dérivation un cube également déterminé, pour l'alimentation des rivières du département du Gers ;

4° Faculté pour les concessionnaires de pouvoir, au besoin, augmenter le volume des eaux de la Neste par de nouvelles dérivations faites, soit à l'Arros, soit à l'Adour, sous réserve des droits antérieurs ;

5° Substitution de la Compagnie aux droits conférés à l'État, en matière d'expropriation publique, pour l'acquisition de tous les terrains nécessaires à l'entreprise ;

6° Engagement par la Compagnie d'avoir achevé les canaux dans un délai déterminé, et de faire elle-même le répandage des limons à la surface des terrains à fertiliser ;

7° Obligation pour la Compagnie de livrer les limons à un prix déterminé et jusqu'à concurrence de moitié de la masse totale, aux propriétaires de domaines composés de parcelles ayant ensemble moins de 100 hectares, en se conformant, pour la répartition, à un réglement administratif qui interviendrait à cet effet.

La Compagnie conserverait le droit d'employer le restant des limons fabriqués :

I. Soit à la fertilisation des terres qui lui appartiendront en propre ;

II. Soit à la mise en valeur d'une surface déterminée de terrains communaux, moyennant abandon, à son profit, de la moitié des terres fertilisées qui auraient été dûment re-

connues susceptibles de produire moyennement une récolte annuelle de 20 hectolitres de blé, ou de 5000 kilogram. de fourrage sec par hectare;

III. Soit à la fertilisation des terrains appartenant aux grands propriétaires, moyennant une redevance dont la Compagnie resterait maîtresse de régler la base de gré à gré, en nature ou en argent.

34 (CXXVIII).

La Compagnie tirerait un double revenu de la vente des limons aux particuliers, et de l'exploitation directe des terrains qui lui auraient été cédés en nature, et qu'elle mettrait successivement en valeur.

La transformation de ces terrains, facilitée par le travail des machines, exigerait un délai de cinq ans et une dépense de 25 millions à couvrir par un emprunt.

Passé ce terme de cinq ans, le budget annuel de la Société paraîtrait pouvoir s'établir comme suit :

1° Recettes annuelles.

Vente de 12 millions de mètres de limons à 0f 30, ci....	3 600 000 f
Produit net de 25 000 hectares en valeur à 200f l'un, ci.	5 000 000
TOTAL................	8 600 000 f

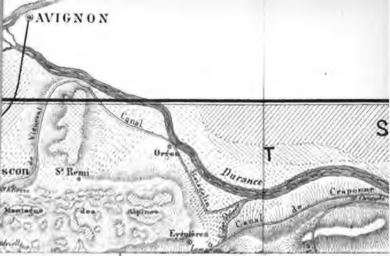
2° Dépenses annuelles.

Intérêts à 5 p. % du capital de premier établissement, ci............................	700 000f	3 300 000
Frais annuels d'entretien et de service du canal, ci........................	1 100 000	
Intérêts et amortissement à 6 p. % du capital d'exploitation, ci..............	1 500 000	
RESTE NET...........		5 300 000 f

soit près de 40 p. % du capital social.

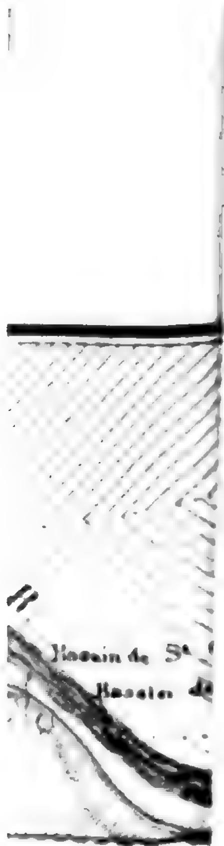
TABLE DES MATIÈRES

SECONDE PARTIE. — Applications pratiques.



Alluvions marines........
Diluvium alpin ....
Terrains tertiaires........
Terrains néocomiens et jurassiq
Terrains antérieurs au jurassi
et Roches Eruptives ....

Digitized by Google

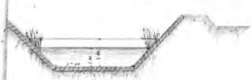


es

ue

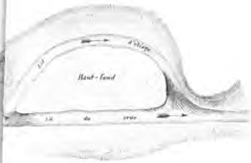
Lith. Boel

Atterrissements limoneux reliés par la végétation à la surface du canal de Marseille

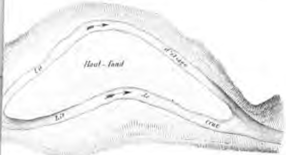


Loi d'inversion des plans dans les élargissements de vallée

Vallon elliptique.



Vallon arqué.



Lit. Boehm & Fils Montpellier

Fig 1. e d'une expamargue

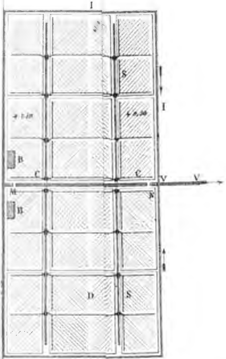


Fig. 7.

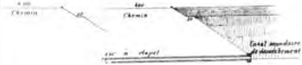
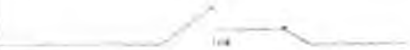


Fig.



Prise d'eau ... desséchement

A Machine élévatoire d'...

id. de V...

B Bâtiments d'exploitat...

C Canal intérieur de de...

Lith Boehm & Fils, Montpell...

3º Bassin de Vendres (1.700h.)

L O P Q R N M	Digue insubmersible à la cote moyenne + 2,50 comprenant intérieurement un canal de ceinture pour irrigation et évacuation supérieure des eaux au point R
S	Prise d'eau et barrage mobile pour irrigation
T R	Canal d'évacuation moyenne
U R	Canal d'évacuation inférieure
R	Machines élévatoires

Lith. Boehm & Fils, Montpellier.

Port de Marseille.
Fig 6
Anse du Pharo
Résidence Impˡᵉ
Anse de la fontaine du Roi
Fort Sᵗ Jean
Ancien
Bassin
Bondes
Quai Napoléon
LEGENDE
Rapide
Lith. Boehm & Fils Montpell.

14 DAY USE
RETURN TO DESK FROM WHICH BORROWED

LOAN DEPT.

This book is due on the last date stamped below, or on the date to which renewed. Renewals only:
Tel. No. 642-3405
Renewals may be made 4 days prior to date due.
Renewed books are subject to immediate recall.

Univ. of Texas

INTER-LIBRARY
LOAN
DEC 11 1971

LD21A-40m-8,'71
(P6572s10)476-A-32

General Library
University of California
Berkeley

Digitized by Google